



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y
Electrónica

Departamento de Ingeniería
Sección Electrónica

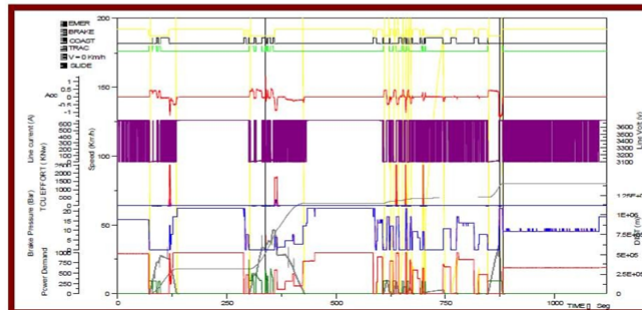
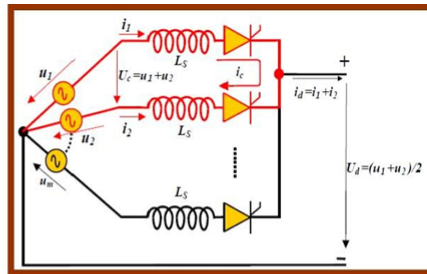
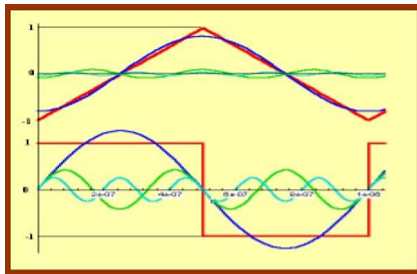
Manual de Prácticas de Laboratorio Electrónica de Potencia

Asignatura: Electrónica de Potencia

Clave de la carrera: 130

Clave de la asignatura: 007

SEMESTRE 2026-2



Fecha de elaboración: 2015

Fecha de revisión: Agosto 2025

Autores: Ing. Lourdes Maldonado López

Ing. Julio Cesar Vázquez Fuentes

Revisión: Dr. José de Jesús Morales Romero

Índice general

| | |
|---|------------|
| Objetivo general de la asignatura | II |
| Objetivo del curso experimental | II |
| Introducción | III |
| Reglamento interno de laboratorios | III |
| Instrucciones para la elaboración del reporte | VI |
| 1. Análisis de las señales de CA | 1 |
| Tema 1.1. Introducción a la electrónica de potencia. | 1 |
| 2. Rectificador no controlado monofásica | 7 |
| Tema 2.2. Conversión AC - DC. | 7 |
| 3. Rectificador semicontrolado monofásico | 13 |
| Tema 3.1. Introducción a los Rectificadores Controlados de Silicio. | 13 |
| 4. Rectificación controlada monofásica | 18 |
| Tema 3.3. Características Dinámicas del SCR. | 18 |
| 5. PUT como dispositivo de disparo | 23 |
| Tema 4.1. Circuitos de Disparo del SCR. | 23 |
| 6. Convertidor CC-CC (Troceador) | 28 |
| Tema 7.2. Troceadores (Chopper). | 28 |
| 7. Convertidor de CD a CA (Inversor monofásico autónomo) | 33 |
| Tema 7.4. Inversores. | 33 |
| 8. Controlador bidireccional con TRIAC | 39 |
| Tema 7.5. Funcionamiento de los circuitos convertidores AC - AC. | 39 |
| Bibliografía | 46 |

Objetivos

OBJETIVO GENERAL DE LA ASIGNATURA

Al finalizar el curso el alumno conocerá los conceptos fundamentales y el funcionamiento de los principales dispositivos semiconductores empleados en la Electrónica de Potencia y los aplicará en el diseño de circuitos electrónicos de control de potencia.

OBJETIVO DEL CURSO EXPERIMENTAL

- *Analizar y comprobar de manera práctica los diferentes circuitos estudiados en la asignatura de Electrónica de Potencia.*
- *Familiarizar al alumno con las características y aplicaciones de los diferentes dispositivos de estado sólido con base a su ficha técnica.*
- *Comprender la diferencia entre circuitos de control y circuitos de potencia.*


Introducción

La electrónica de potencia es aquella parte de la electrónica que se encarga del control y la conversión de la energía eléctrica. Una de las necesidades más frecuentes en la industria es la del control y regulación de velocidad de un motor.

Los sistemas electrónicos de potencia presentan una estructura básica similar conformada de tres bloques siendo el primero el circuito de potencia, después el circuito de disparo-bloqueo, y finalmente el circuito de control.

El circuito de potencia abarca los dispositivos semiconductores de potencia, encargados de actuar sobre la energía eléctrica presente en la entrada del sistema para convertirla en la energía eléctrica con la forma demandada, disponible en la salida.

Por lo que los circuitos de disparo y bloqueo se encargan de dar las señales provenientes de los circuitos de control los niveles de voltaje y corriente adecuados para poder disparar y bloquea los semiconductores de potencia, al mismo tiempo de proporcionar el aislamiento galvánico necesario entre la etapa de potencia y la de control.

| | |
|---|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SECCIÓN ELECTRÓNICA |
| REGLAMENTO INTERNO DE LABORATORIOS | |

El presente reglamento de la sección electrónica tiene por objetivo establecer los lineamientos para el uso y seguridad de laboratorios, condiciones de operación y evaluación, que deberán de conocer y aplicar, estudiantes y profesores en sus cuatro áreas: comunicaciones, control, sistemas analógicos y sistemas digitales.

1. Queda estrictamente prohibido, al interior de los laboratorios
 - a) Correr, jugar, gritar o hacer cualquier otra clase de desorden.
 - b) Dejar basura en las mesas de trabajo y/o pisos.
 - c) Fumar, consumir alimentos y/o bebidas.
 - d) Realizar o responder llamadas telefónicas y/o el envío de cualquier tipo de mensajería.
 - e) La presencia de personas ajenas en los horarios de laboratorio.
 - f) Dejar los bancos en desorden y/o sobre las mesas.
 - g) Mover equipos o quitar accesorios de una mesa de trabajo.
 - h) Usar o manipular el equipo sin la autorización del profesor.
 - i) Rayar y/o sentarse en las mesas del laboratorio.
 - j) Energizar algún circuito sin antes verificar que las conexiones sean las correctas (polaridad de las fuentes de voltaje, multímetros, etc.).
 - k) Hacer cambios en las conexiones o desconectar el equipo estando energizado.
 - l) Hacer trabajos pesados (taladrar, martillar, etc.) en las mesas de trabajo.
 - m) Instalar software y/o guardar información en los equipos de cómputo de los laboratorios.
 - n) El uso de cualquier aparato o dispositivo electrónico ajeno al propósito para la realización de la práctica.
 - o) Impartir clases teóricas, su uso es exclusivo para las sesiones de laboratorio.

2. Es responsabilidad del profesor y de los estudiantes revisar las condiciones del equipo e instalaciones del laboratorio al inicio de cada práctica (encendido, dañado, sin funcionar, maltratado, etc.). El profesor deberá generar el reporte de fallas de equipo o de cualquier anomalía y entregarlo al responsable de laboratorio o al jefe de sección.

3. Los profesores deberán de cumplir con las actividades y tiempos indicados en el "cronograma de actividades de laboratorio".


4. Es requisito indispensable para la realización de las prácticas que el estudiante:
 - a) Descargue el manual completo y actualizado al semestre en curso, el cual podrá obtener en (<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/ingenieriafesc/>)
 - b) Presente su circuito armado en la tableta de conexiones para poder realizar la práctica (cuando aplique), de no ser así, tendrá una evaluación de cero en la sesión correspondiente.
 - c) Realizar las actividades previas y entregarlas antes del inicio de la sesión de práctica, de no ser así, tendrá una evaluación de cero en la sesión correspondiente.

5. Estudiante que no asista a la sesión de práctica de laboratorio será evaluado con cero.

6. La evaluación de cada sesión debe realizarse con base en los criterios de evaluación incluidos en los manuales de prácticas de laboratorio y no podrán ser modificados. En caso contrario, el estudiante deberá reportarlo al jefe de sección.
7. La evaluación final del estudiante en los laboratorios será con base en lo siguiente:
 - a) **(Aprobado) Cuando el promedio total de todas las prácticas de laboratorio sea mayor o igual a 6 siempre y cuando tengan el 90% de asistencia y el 80% de prácticas acreditadas con base en los criterios de evaluación.**
 - b) **(No Aprobado) No cumplió con los requisitos mínimos establecidos en el punto anterior.**
 - c) **(No Presentó) Cuando no asistió a ninguna sesión de laboratorio o que no haya entregado actividades previas o reporte alguno.**
8. Profesores que requieran hacer uso de las instalaciones de laboratorio para realizar trabajos o proyectos, es requisito indispensable que las soliciten por escrito al jefe de sección. Siempre y cuando no interfiera con los horarios de los laboratorios.
9. Estudiantes que requieran realizar trabajos o proyectos en las instalaciones de los laboratorios, es requisito indispensable que esté presente el profesor responsable del trabajo o proyecto. En caso contrario no podrán hacer uso de las instalaciones.
10. Correo electrónico del buzón para quejas y sugerencias para cualquier asunto relacionado con los laboratorios (seccion_electronica@cuautitlan.unam.mx).
11. El incumplimiento a estas disposiciones faculta al profesor para que instruya la salida del infractor y en caso de resistencia, la suspensión de la práctica.
12. A los usuarios que, por su negligencia o descuido inexcusable, cause daños al laboratorio, materiales o equipo deberá cubrir los gastos que se generen con motivo de la reparación o reposición, indicándose en el reporte de fallas correspondiente.
13. Los usuarios de laboratorio que sean sorprendidos haciendo uso indebido de equipos, materiales, instalaciones y demás implementos, serán sancionados conforme a la legislación universitaria que le corresponda, según la gravedad de la falta cometida.
14. Los casos no previstos en el presente reglamento serán resueltos por el Jefe de Sección, de acuerdo con los lineamientos generales para el uso de los laboratorios en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Instrucciones para la elaboración del reporte

1. Los reportes deberán basarse en la siguiente metodología: objetivo(s), introducción, material, equipo, procedimiento experimental, cuestionario, conclusiones y bibliografía.
2. Las prácticas deberán tener el siguiente formato de portada (obligatorio).

| | | |
|---|--|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO |  |
| FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN | | |
| LABORATORIO DE ELECTRÓNICA POTENCIA | | |
| PRACTICA # _____ | | |
| "NOMBRE DE LA PRACTICA" | | |
| PROFESOR: _____ | | |
| ALUMNO: _____ | | |
| No dé Cuenta: _____ | | |
| FECHA DE REALIZACION: _____ | FECHA DE ENTREGA: _____ | |
| SEMESTRE: _____ | GRUPO: _____ | |

3. Criterios de Evaluación.

| | |
|--|--------|
| C1: Análisis teórico de los circuitos de la práctica | (35 %) |
| C2: Habilidad en el armado de los circuitos | (15 %) |
| C3: Interpretación correcta de lecturas | (15 %) |
| C4: Reporte entregado con todos los puntos indicados en el manual de prácticas | (35 %) |

ATRIBUTOS DE EGRESO

Atributo por evaluar: AEITSE3. Utiliza herramientas y conceptos físico - matemáticos en la resolución de problemas en el ámbito de la ingeniería de telecomunicaciones, sistemas y electrónica.

La evaluación del Atributo de Egreso se llevará a cabo durante la Práctica No. 7, mediante una lista de cotejo que será aplicada en la sesión correspondiente. Esta evaluación permitirá valorar el desempeño del estudiante en relación con los atributos de egreso establecidos en el perfil del ingeniero y será de su conocimiento por el profesor y publicada en el listado único de calificaciones.

Práctica 1

Análisis de las señales de CA

Tema

1. Tema 1.1. Introducción a la electrónica de potencia.

Objetivo:

- El alumno demostrará que cualquier forma de onda periódica puede ser representada como una serie de sinusoidales de diferentes frecuencias y fases.

Introducción

La generación, transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica se da en estado estacionario senoidal. Las señales senoidales son aquellas que se pueden expresar a través de una función seno o coseno, en donde el valor de la onda es un instante cualquiera en el tiempo.

En la corriente alterna (*ac*) su característica fundamental es su polaridad o sentido de circulación a través de un circuito; no es único y sobre todo no tiene un valor constante a través del tiempo, sino que dicho valor varía cíclica o periódicamente.

El comportamiento de la corriente puede comenzar en cero, se incrementa progresivamente hasta alcanzar un valor máximo positivo, posteriormente regresa gradualmente a cero, a partir de ese instante la corriente crece desde cero hasta alcanzar un valor máximo negativo y, luego disminuye gradualmente hasta retornar otra vez a cero, finalizando lo que se denomina un ciclo y dando origen al siguiente. El número de veces que se repita la señal en un segundo será la frecuencia.

Los circuitos electrónicos, en general, pueden ser excitados por formas de onda no necesariamente sinusoidales, estas pueden ser cuadradas, rizado, diente de sierra, triangular, y pulsos.

Todas estas señales tienen un patrón regular, que son periódicas, es decir, en su forma de onda se repite exactamente en el tiempo a intervalos regulares, cualquier señal periódica compleja siempre es el resultado de la superposición o suma de varias señales sinusoidales relacionadas armónicamente.

Una característica de esta corriente es que su forma armónica se conserva cuando la corriente es modificada por el efecto de elementos lineales, a saber: resistencias, condensadores, bobinas, transformadores, etc.

Debido a que cualquier función periódica puede expresarse como la suma de diferentes armónicos, el estudio de la corriente alterna constituye la base para el análisis de señales variables en el tiempo en redes lineales.

En un sistema equilibrado, la onda está centrada en torno al cero, los armónicos son múltiplos sobrantes de la frecuencia fundamental. En una onda cuadrada o cuasi-cuadrada, la amplitud de cada armónico es inversamente proporcional a su orden de magnitud, es decir, cuanto mayor es la frecuencia, menor será su amplitud.

Actividad previa

NOTA: RECUERDA QUE ÉSTE CUESTIONARIO PREVIO LO DEBES ENTREGAR ANTES DE INICIAR EL DESARROLLO DE TU PRÁCTICA.

1. Calcular el voltaje pico y negativo, el promedio y eficaz de las señales $V_1(t)$, $V_2(t)$ y $V_3(t)$, mostradas en la Fig. 1.1, Fig. 1.2 y Fig. 1.3.

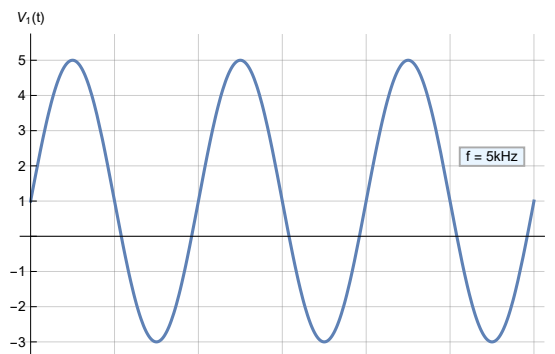


Fig. 1.1: Onda sinusoidal.

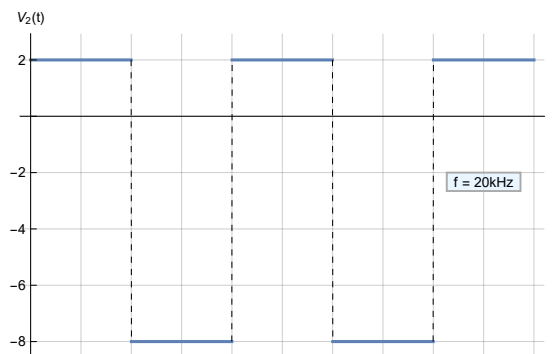


Fig. 1.2: Onda Cuadrada.

2. Para la señal periódica que se muestra en la Fig. 1.4, obtenga:

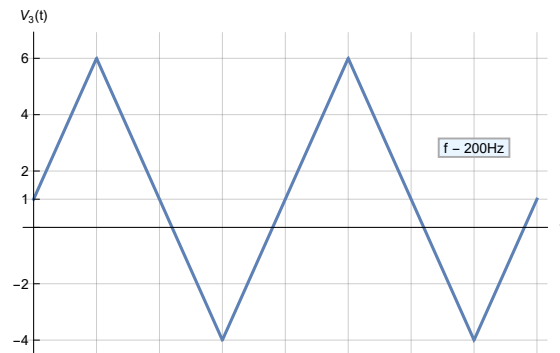


Fig. 1.3: Onda Triangular.

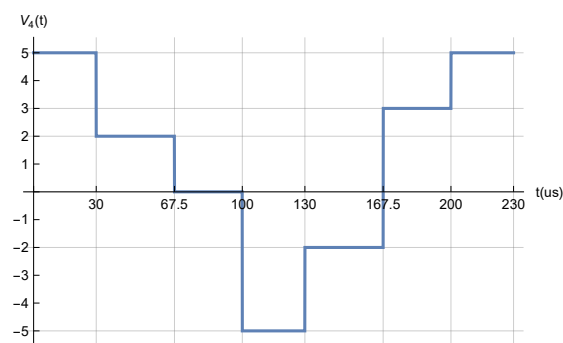


Fig. 1.4: Onda Arbitraria.

- El voltaje promedio.
- El voltaje eficaz.
- La potencia media disipada en una resistencia de 2.25Ω

Equipo

- 1 generador de funciones.
- 1 osciloscopio
- 1 multímetro

Procedimiento experimental

- Calibra el generador de funciones para obtener la señal $V_1(t)$ que se pidió en las actividades previas.
- Conecta el generador de funciones al canal 1 del osciloscopio en acople de *cc*.
- Observa la señal en el osciloscopio y obtén las mediciones solicitadas en la Tabla 1.1.
- Observa el espectro de la señal en el osciloscopio, para lo cual realiza los siguientes pasos.

Tabla. 1.1. Mediciones de voltaje para la onda senoidal.

| Voltaje | Práctico | Teórico |
|--------------|----------|---------|
| V_p | | |
| $-V_p$ | | |
| V_{pp} | | |
| V_{prom} | | |
| V_{eficaz} | | |

- a) Oprime el botón de menú matemático (Math Menu) del panel frontal del osciloscopio.
- b) Elegir en la pantalla Operación FFT.
- c) Ajusta la “perilla Sec/Div”, hacia un lado o hacia el otro de modo tal que se visualicen al menos 10 armónicas.
- d) Coloca la señal en posición central de la pantalla.
- e) Dibuja la señal observada teniendo cuidado de anotar el valor de dB y frecuencia de al menos 8 armónicas (apóyese de los cursores del osciloscopio para este unto), y anota sus valores en la Tabla 1.2.

Tabla. 1.2. Armónicas de la señal senoidal.

| Armónica | Frecuencia | dB |
|----------|------------|----|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |

5. Calibra tu generador de funciones, ahora ara obtener la señal $V_2(t)$ que se te ide en el previo.
6. Conecta el osciloscopio como en el punto 2 de este procedimiento.
7. Observa la señal en el osciloscopio y obtén las mediciones de la Tabla 1.3.
8. Observa el espectro de esta señal en el osciloscopio, siguiendo los mismos pasos que en punto 4.
 - a) Coloca la señal en posición central de la pantalla.
 - b) Dibuja la señal observada teniendo cuidado de anotar el valor en dB y la frecuencia de al menos 8 armónicas y anota sus valores en la Tabla 1.4.
9. Calibra el generar de funciones para obtener la señal $V_3(t)$ que se te pide en tu previo.

Tabla. 1.3. Mediciones de voltaje para la onda cuadrada.

| Voltaje | Práctico | Teórico |
|--------------|----------|---------|
| V_p | | |
| $-V_p$ | | |
| V_{pp} | | |
| V_{prom} | | |
| V_{eficaz} | | |

Tabla. 1.4. Armónicas de la señal cuadrada.

| Armónica | Frecuencia | dB |
|----------|------------|----|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |

10. Conecta el generador de funciones al canal 1 del osciloscopio, en acoplo *cc*.
11. Observa la señal en el osciloscopio y obtén las mediciones de la Tabla 1.5.

Tabla. 1.5. Mediciones de voltaje para la onda triangular.

| Voltaje | Práctico | Teórico |
|--------------|----------|---------|
| V_p | | |
| $-V_p$ | | |
| V_{pp} | | |
| V_{prom} | | |
| V_{eficaz} | | |

12. Observa el espectro de esta señal, siguiendo los mismos pasos que en punto 4.
 - a) Coloca la señal en posición central de la pantalla.
 - b) Dibuja la señal observada teniendo cuidado de anotar el valor de dB y frecuencia de al menos 8 armónicas y anota sus valores en la Tabla 1.6.

Cuestionario

1. ¿Qué es voltaje pico?
2. ¿Qué es voltaje eficaz?

Tabla. 1.6. Armónicas de la señal triangular.

| Armónica | Frecuencia | dB |
|----------|------------|----|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |

3. ¿Qué es voltaje promedio?
4. ¿Qué son los decibeles, y para qué se utilizan?
5. ¿Cómo calculas un valor en decibeles de $|C_n|$?
6. ¿Qué significa que un valor en decibeles te dé positivo o negativo?
7. ¿Qué es la componente fundamental de un espectro?

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 2

Rectificador no controlado monofásica

Tema

1. Tema 2.2. Conversión AC - DC.

Objetivo

- Comprobar los parámetros de rendimiento en las diversas etapas de rectificación.
- Determinar la forma de medir los parámetros de rendimiento para cada circuito.
- Implementación y observación de un circuito rectificador de media onda, con tap central y de tipo puente.

Introducción

La rectificación no controlada se lleva a cabo por medio de uno o más diodos de unión pn . Como es sabido, estos dispositivos idealmente permiten el paso de la corriente en un solo sentido y lo bloquean en el sentido contrario. Existen diversos tipos de configuraciones rectificadoras elementales.

En un rectificador de media onda en un diodo se interpone entre la fuente y la carga. Cuando el voltaje de la fuente es positivo, el sentido de la corriente es favorable y se produce la circulación. Es importante destacar que el voltaje en la carga es unidireccional (positiva) pero no continua (constante). Esta forma de onda no es la deseable para alimentar dispositivos electrónicos, que generalmente requieren una alimentación constante.

Para la mayor parte de las aplicaciones, se puede suponer que los rectificadores de potencia son interruptores ideales, pero los rectificadores prácticos o reales, difieren de las características ideales y tienen ciertas limitaciones. Los rectificadores de potencia son similares a los rectificadores de unión pn . Sin embargo, los rectificadores de potencia tienen mayores capacidades en el manejo de la energía.

Actividad previa

1. Realiza el análisis matemático de cada uno de los circuitos de esta práctica; calculando los parámetros solicitados en la Tabla 2.1.

Tabla. 2.1. Análisis matemático de los parámetros de rendimiento.

| Parámetro | 1/2 onda | Tap central | Tipo puente |
|------------------------------------|----------|-------------|-------------|
| Voltaje pico (primario) | | | |
| V_{rms} (secundario) | | | |
| I_{rms} (secundario) | | | |
| V_{rms} (carga) | | | |
| I_{rms} (carga) | | | |
| V_{prom} (secundario) | | | |
| I_{prom} (secundario) | | | |
| V_{prom} (carga) | | | |
| I_{prom} (carga) | | | |
| Voltaje corriente alterna efectivo | | | |
| Factor de forma (FF) | | | |
| Factor de rizo (FR) | | | |
| Factor de utilización (TUF) | | | |
| Factor de potencia (DF) | | | |
| Factor de cresta (CF) | | | |
| Rendimiento (η) | | | |

2. Gráfica las señales de: $V_{secundario}$, $I_{secundario}$, V_{diodo} , I_{diodo} , V_{carga} y I_{carga} . Perfectamente acotadas de acuerdo a tu cálculo del punto anterior para cada rectificador.
3. Realiza la simulación de todos los circuitos y entrega de forma impresa, señales de onda y circuito para cada uno.

Equipo

- Osciloscopio con puntas atenuadas.
- Multímetro

Material

- 1 transformador monofásico con derivación central de 127/24 Vca a 0.5 A.
- 1 clavija con 0.5 m de cable del número 14 awg para conectarse al toma corriente.
- 5 diodos 1N4001 o equivalente.

- 1 resistencia de $1\text{ k}\Omega$ (la potencia de la resistencia será con base en los cálculos del análisis de las actividades previas).

Procedimiento experimental

Rectificador de media onda

1. Arme el circuito de la Fig. 2.1, aliméntalo con el transformador (deja el tap central sin conectar, teniendo cuidado de no hacer corto circuito).

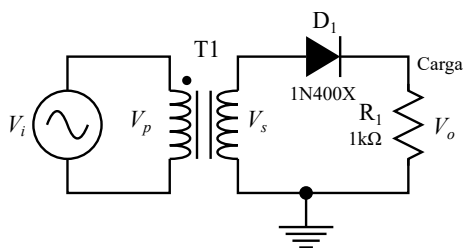


Fig. 2.1: Rectificar no controlado de media onda con un solo diodo.

2. Mida con el multímetro el voltaje eficaz en el primario y secundario del transformador y anótalos en la Tabla 2.2.

Tabla. 2.2

| V_{cd} (carga) | V_{rms} (carga) | V_{cd} (diodo) | I_{cd} (carga) | I_{cd} (diodo) | I_{rms} (carga) |
|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |

3. Conecta el CH1 del osciloscopio al secundario del transformador, el CH2 en la resistencia de carga.
4. Dibuja las formas de onda obtenidas en el CH1 y CH2, anotando cuidadosamente el V_p , V_{pp} , frecuencia y periodo en la Tabla 2.3.

Tabla. 2.3

| Canal | V_p | V_{pp} | Frecuencia | Periodo |
|-------|-------|----------|------------|---------|
| CH1 | | | | |
| CH2 | | | | |

5. Calcula los parámetros de rendimiento con los valores obtenidos en la práctica y compáralos con los resultados de la actividad previa.

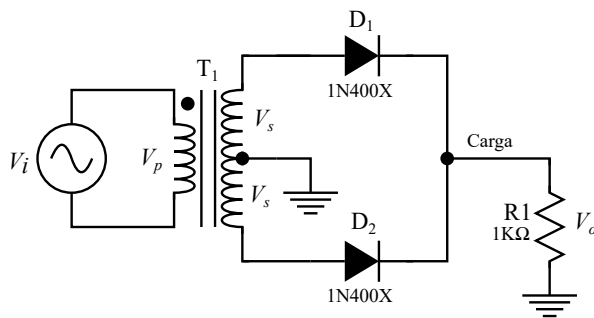


Fig. 2.2: Rectificador no controlado de onda completa con dos diodos.

Rectificador de onda completa con tap central

1. Arma el circuito de la Fig. 2.2 aliméntalo con el transformador de 127/24Vca y la derivación central a tierra.
2. Mide con el multímetro el voltaje eficaz en el primario y en el secundario del transformador y anótalos en la Tabla 2.4.

Tabla. 2.4

| V_{cd} (carga) | V_{rms} (carga) | V_{cd} (diodo) | I_{cd} (carga) | I_{cd} (diodo) | I_{rms} (carga) |
|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |

3. Conecta el CH1 del osciloscopio al secundario del transformador, el CH2 en la carga.
4. Dibuja las formas de onda obtenidas en el CH1 y CH2, anotando cuidadosamente V_p , V_{pp} , frecuencia y periodo en la Tabla 2.5.

Tabla. 2.5

| Canal | V_p | V_{pp} | Frecuencia | Periodo |
|-------|-------|----------|------------|---------|
| CH1 | | | | |
| CH2 | | | | |

5. Calcula los parámetros de rendimiento con los valores obtenidos en la práctica y compáralos con los datos calculados en el previo.

Rectificador de onda completo tipo puente

- Arma el circuito de la Fig. 2.3 aliméntalo con el transformador 127/24Vca.
- Medir con el multímetro el voltaje eficaz en el primario y secundario de tu transformador y anótalos en la Tabla 2.6.
- Conecta el CH1 del osciloscopio en el primario y CH2 en el secundario del transformador.

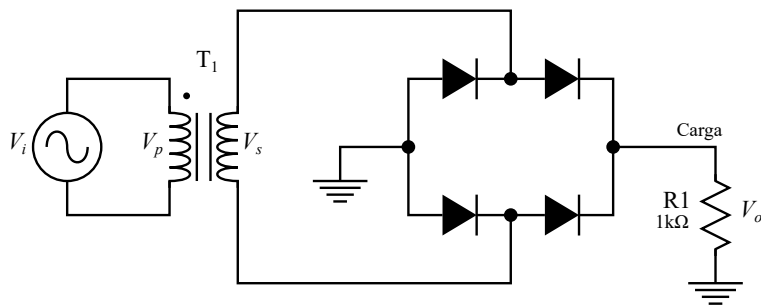


Fig. 2.3: Rectificador no controlado de onda completa con puente de diodos.

Tabla. 2.6

| V_{cd} (carga) | V_{rms} (carga) | V_{cd} (diodo) | I_{cd} (carga) | I_{cd} (diodo) | I_{rms} (carga) |
|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | |

Tabla. 2.7

| Canal | V_p | V_{pp} | Frecuencia | Periodo |
|-------|-------|----------|------------|---------|
| CH1 | | | | |
| CH2 | | | | |

- Dibuja las formas de onda obtenidas en el CH1 y CH2 anotando cuidadosamente V_p , V_{pp} , frecuencia, y periodo en la Tabla 2.7.
- Calcula los parámetros de rendimiento con los valores obtenidos en la práctica y compáralos con los datos calculados en el previo.
- Compara todo tu análisis teórico del previo con todo tu análisis práctico y comenta al respecto.

Cuestionario

1. ¿Cuáles son las aplicaciones típicas para los rectificadores?
2. Al incrementar la temperatura a la que trabaja el diodo ¿Qué ocurre con la capacidad de conducción?
3. ¿Qué representa el voltaje pico inverso PIV del diodo rectificador y que sucede al sobre pasarlo?
4. Investiga la capacidad máxima de corriente del puente rectificador que utilizaste en esta práctica?
5. ¿Qué efectos causará en los rectificadores si cambiamos la carga resistiva por una inductiva?
6. Investiga ¿Qué se debe hacer para disminuir el factor de rizo?

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 3

Rectificador semicontrolado monofásico

Tema

1. Tema 3.1: Introducción a los Rectificadores Controlados de Silicio.

Objetivo

- Observar la operación y formas de onda de un SCR operando una carga resistiva.
- Control de fase en conducción de un SCR.
- Comprender la diferencia entre la rectificación hecha con un diodo y un SCR.

Introducción

El rectificador controlado de silicio o tiristor es uno de los dispositivos más usados en electrónica industrial por su facilidad de trabajar en alta potencia y altas corrientes. Existen SCRs para controlar potencias tan altas como 100 MW con corrientes del orden de 2000 A y voltajes de 1800 V. Está formado por cuatro capas PNPN y tiene tres terminales: ánodo, cátodo y la puerta.

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

Un SCR se puede disparar por corriente continua, corriente alterna y por pulsos.

Cuando no circula corriente por G , es decir, $I_G = 0$ no hay disparo, el SCR está cortado. Al circular la corriente I_G , el SCR se dispara, o sea conduce.

Un SCR se puede disparar por pulsos positivos aplicados a la puerta. Uno de los métodos más comunes es usando un transistor de Unijuntura (UJT).

Un rectificador controlado de silicio (SCR) es un dispositivo de tres terminales utilizado en electrónica de potencia para controlar corrientes elevadas en una carga resistiva o inductiva. El flujo de corriente promedio de una carga, puede ser controlada colocando un SCR en serie con la carga, la cual generalmente es de ca , pero con algunas adiciones en la compuerta se podría controlar una carga de cd .

Los términos populares para describir la operación de un SCR son ángulo de conducción y ángulo de disparo o retardo. El ángulo de conducción es el número de grados de un ciclo de ca durante los cuales el SCR este encendido. El ángulo de retardo de disparo es el número de grados en un ciclo de ca que transcurren antes de que el SCR sea encendido, estos términos están basados en la notación de que el tiempo total del ciclo es igual a 360° .

Equipo

- 1 generador de funciones.
- 1 osciloscopio.
- 1 multímetro digital.

Material

- 1 resistencia de $82\text{ k}\Omega$ (R_1).
- 1 resistencia de $4.7\text{ k}\Omega$ a 0.5 W (R_2).
- 1 potenciómetro de $100\text{ k}\Omega$, $200\text{ k}\Omega$, $500\text{ k}\Omega$, $1\text{ M}\Omega$ (R_3).
- 2 diodos rectificadores 1N4001 (D_1 , D_2).
- 1 rectificador controlado de silicio C106D (SCR).
- 1 transformador monofásico con derivación central de $127/24\text{ V}_{ca}$ a 0.5 A , con clavija ara conectarse al toma corriente.

Actividad previa

1. Realizar un resumen del SCR indicando:
 - a) Lo qué significan las siglas SCR.
 - b) Quién lo lanzó al mercado y en qué año.
 - c) Su estructura interna.
 - d) El nombre de todas y cada una de sus terminales.
 - e) Su símbolo.
 - f) Circuito equivalente.
 - g) Su curva característica V-I.
-

- h) La explicación sucinta con tus propias palabras de su funcionamiento.
- Investiga en internet la hoja de datos del SCR C106D y anota **a mano** las características principales y su configuración de pines. (Conservar toda la hoja de datos a mano, en archivo electrónico o en papel).
 - Realiza la simulación del circuito de esta práctica, observando cuidadosamente cómo se comporta la señal de salida al movimiento del potenciómetro. Comenta lo observado.
 - Dibuja en papel milimétrico las señales que esperas obtener en la carga (R_2) del circuito de la Fig. 3.1 para los ángulos de disparo (θ_D) 30 y 60 grados, señalando su voltaje instantáneo, periodo y frecuencia de cada una.
 - Calcula el voltaje promedio y cuadrático medio (rms) de las señales obtenidas en el punto anterior.

Procedimiento experimental

- Arma el circuito de la Fig. 3.1 (omite la sección de línea punteada), teniendo cuidado de ajustar tu potenciómetro (ya sea el de 100 k Ω , 200 k Ω , 500 k Ω o de 1 M Ω de acuerdo con el que funcione con el SCR adquirido) con la máxima resistencia.

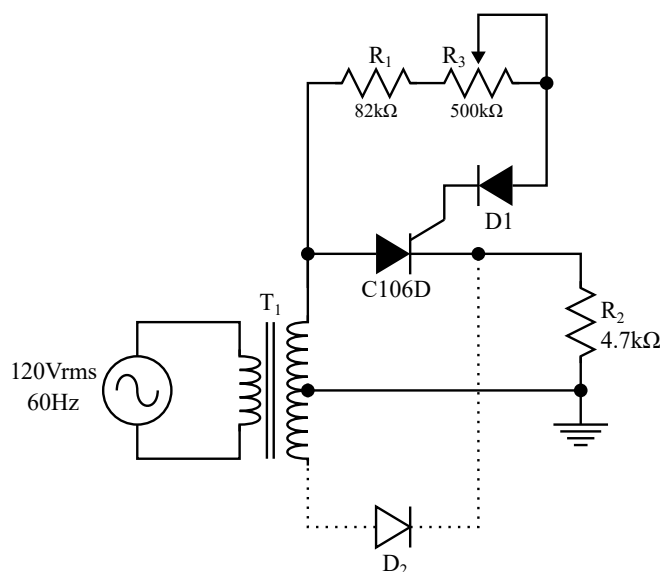


Fig. 3.1: Rectificación semicontrolada.

- Asegúrate de utilizar la terminal media del secundario del transformador ($12V_{rms}$).
- Conecta el CH1 en el ánodo del SCR asegurándote que el acoplo sea *ca* y el CH2 en el cátodo asegurándote que el acoplo sea *cd*.
- Mueve el potenciómetro hasta obtener un voltaje en R_2 ; si no logras obtener alguna señal cambia de potenciómetro hasta obtener una.

- Con ayuda de tus cursores mide voltaje máximo (V_p), los ángulos de disparo (θ_D), corte (θ_C) y voltaje instantáneo del SCR; con el multímetro mide los valores del Voltaje promedio y eficaz; Corriente promedio y eficaz de la Resistencia de Carga (R_2) anotándolas en la Tabla 3.1 para 3 diferentes posiciones del potenciómetro. Dibuja en papel milimétrico las señales cuidadosamente, señalando su voltaje máximo (V_p), ángulo de disparo (θ_D), corte (θ_C) y de conducción (θ_{cond}), voltaje instantáneo de cada una.

Tabla. 3.1

| Potenciómetro | θ_D | V_{inst} | θ_C | V_{prom} | I_{prom} | V_{rms} | I_{rms} |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| $R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ k}\Omega$ | | | | | | | |
| $R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ k}\Omega$ | | | | | | | |
| $R_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ k}\Omega$ | | | | | | | |

- Deja fijo tu potenciómetro exactamente en el instante de disparo próximo a 90° . Mide la resistencia que el potenciómetro tiene entre las terminales que estas usando y anótala en la Tabla (Recuerda que una resistencia nunca se mide conectada).
- Ahora mide con el Multímetro, voltaje promedio, voltaje eficaz, corriente promedio y la corriente eficaz que circula por R_2 , y anótala en la Tabla 3.2.
- Calcula la potencia promedio y eficaz que se obtiene en la carga en este momento; anótala en la Tabla 3.2.

Tabla. 3.2

| Parámetro | Medición |
|---------------------|----------|
| $R_{potenciometro}$ | |
| $\theta_{disparo}$ | |
| θ_{corte} | |
| V_{rms} | |
| I_{prom} | |
| I_{rms} | |
| P_{rms} | |
| P_{prom} | |

- Conecta el ánodo del diodo en la otra terminal del transformador, y el cátodo con el cátodo del SCR (Figura línea punteada); observa la señal de la carga en el osciloscopio. Anota tus comentarios acerca de lo que ocurre.

Cuestionario

- ¿Cuál es la relación que hay entre el valor del potenciómetro, el ángulo de disparo y la potencia de CD en la carga? Explica ampliamente al respecto.

2. Realiza una tabla comparativa, donde se pueda observar: El valor del Potenciómetro, El ángulo de Disparo, El ángulo de Conducción, El Voltaje CD de la carga, el Voltaje RMS de la carga, la corriente CD en la carga y la Potencia de CD en la carga; todos los valores a los que ajustaste el Potenciómetro.
3. ¿A qué conclusión llegas, después de analizar tus respuestas de los dos anteriores?
4. ¿Qué necesitarías hacer para controlar el ángulo de disparo más allá de los 90° ?
5. ¿De qué otra manera se te ocurre generar pulsos de disparo para un SCR?

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 4

Rectificación controlada monofásica

Tema

1. Tema 3.3: Características Dinámicas del SCR.

Objetivo

- Observar el funcionamiento y formas de onda de un rectificador controlado operando una carga resistiva.
- Controlar del voltaje en función del ángulo de disparo.
- Comprender la diferencia entre la rectificación no controlada, semi controlada y controlada.

Introducción

Si sustituimos los diodos en los rectificadores no controlados por SCRs, obtendremos un sistema de rectificación controlada o semi controlada. Estos sistemas permitirán la regulación del valor medio del voltaje en la carga. La sustitución del diodo por el SCR permite retardar la entrada en conducción de este, lo cual ocurre no sólo cuando el voltaje entre sus bornes es positivo, sino cuando, siendo positivo se inyecta un pulso de cebado a la puerta del SCR. El parámetro fundamental en estos rectificadores con SCRs será el ángulo de disparo α , de forma que un tiristor conduce con un retardo de tiempo α/ω con relación al instante en el cual conduciría el diodo al que ha sustituido. Los rectificadores con SCRs utilizan los mismos esquemas que los rectificadores con diodos, si bien aquí hay que distinguir entre dos tipos:

1. Rectificadores semicontrolados. Formados por SCRs y diodos.
2. Rectificadores totalmente controlados. Formados únicamente por SCRs.

El principio de funcionamiento consiste en disparar los SCRs con un cierto ángulo respecto del punto de conmutación natural o paso por cero de la señal de entrada. Con ello se consigue aplicar el voltaje de la fuente sobre la carga un tiempo variable, que depende del momento del disparo y por tanto se conseguirá variar los valores medios y eficaces del voltaje en la carga. Dependiendo del tipo de carga, se deberá analizar el tipo de pulso de cebado del SCR. Para las cargas con componente inductiva, la corriente en la carga, y por tanto en el SCR, no variará bruscamente, con lo que se tardará un cierto tiempo en alcanzar la corriente de enclavamiento del SCR. Así se deberá mantener la excitación de puerta hasta que el SCR alcance la plena conducción. En esta circunstancia será más adecuado el uso de un tren de pulsos de larga duración, evitando así pérdidas en el tiristor. En el caso de cargas poco inductivas, se deberá tener en cuenta el di/dt , con el fin de no sobrepasar los niveles máximos de cada SCR.

La conmutación se producirá de manera natural ante la existencia de un pulso de cebado, si el voltaje $V_{a-cat} > 0$. En cuanto al bloqueo de los SCRs en un circuito rectificador, este se producirá de manera natural, al anularse la corriente en el circuito, o bien cuando se dispare otro SCR, y se polariza inversamente el que conducía, lo que produce un bloqueo forzado.

Equipo

- 1 osciloscopio.
- 1 multímetro.

Material

- 1 resistencia de $82\text{ k}\Omega$ a 0.5 W (R_1).
- 1 resistencia de $470\ \Omega$ a 0.5 W (R_2).
- 1 potenciómetros de $100\text{ k}\Omega$, $200\text{ k}\Omega$, $500\text{ k}\Omega$, $1\text{ M}\Omega$ ($Ppot_1$).
- 1 puente rectificador KBPC1-04 (PT_1).
- 2 diodos rectificadores 1N4001 (D_1 , D_2)
- 1 rectificador controlado de silicio C106D (SCR_1)
- 1 transformador monofásico con derivación central de $127/24\text{ V}_{ca}$ a 0.5 A , con clavija ara conectarse (TR_1).

Actividad previa

1. Dibuja en papel milimétrico las señales que esperas obtener en la carga (R_2) del circuito de la Fig. 4.1 para los ángulos de disparo (θ_D) 30 y 60 grados, señalando su Voltaje instantáneo, Periodo y Frecuencia de cada una.
2. Calcula el voltaje promedio y cuadrático medio (rms) de las señales obtenidas en el punto anterior.

Procedimiento experimental

1. Arma el circuito de la Fig. 4.1, teniendo cuidado de ajustar tu Potenciómetro (ya sea el de $100\text{ k}\Omega$, $200\text{ k}\Omega$ o de $500\text{ k}\Omega$ de acuerdo al que funcione con el SCR adquirido) con la máxima resistencia.

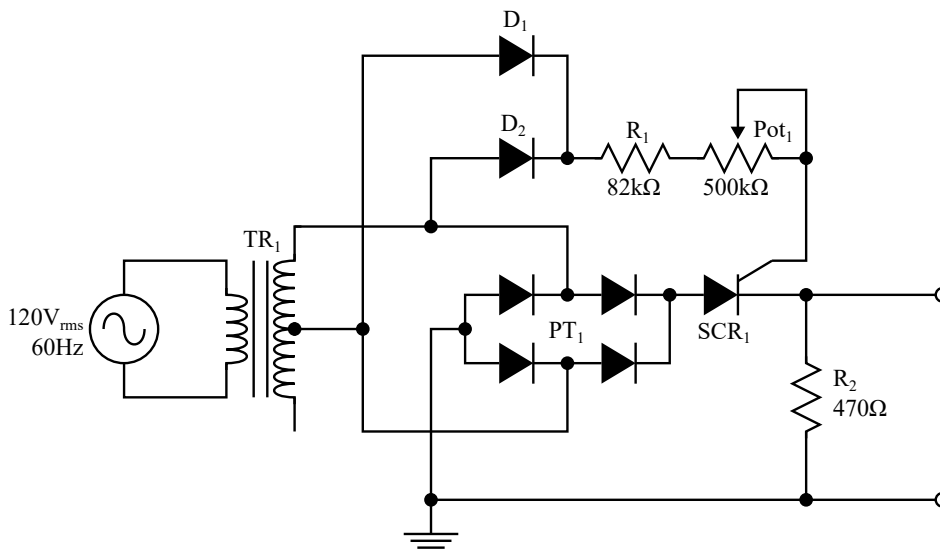


Fig. 4.1: Rectificación controlada.

2. Asegúrate de utilizar la derivación central del transformador ($12V_{rms}$). Observa que la disposición de las terminales del SCR, están referenciadas del lado del disipador (placa metálica).
3. Con las puntas atenuadoras posicionadas en X10; conecta el CH1 en el ánodo del SCR y el CH2 en el cátodo asegurándote que el acople sea *cd* para ambos.
4. Mueve el potenciómetro hasta obtener un voltaje en R_2 ; si no logras obtener alguna señal cambia de potenciómetro hasta obtener una.
5. Para 3 diferentes posiciones del potenciómetro, toma las siguientes medidas:
 - a) Con ayuda de los cursores del osciloscopio, mide los ángulos de disparo (θ_D), conducción (θ_C), voltaje instantáneo (V_{inst}).
 - b) Presiona el botón “Medidas” del osciloscopio para medir el voltaje promedio y eficaz de la Resistencia de Carga (R_2).
 - c) Con ayuda del multímetro mide la resistencia del potenciómetro, corriente promedio y eficaz anotándolas en la Tabla 4.1. Dibuja las señales cuidadosamente en papel milimétrico, señalando voltaje instantáneo, ángulo de disparo y ángulo de conducción de cada una.
6. Deja fijo tu potenciómetro en el instante de disparo a 90° o lo más próximo. Mide la resistencia que el potenciómetro tiene entre las terminales que estas usando y anótala en la Tabla 4.2 (**Recuerda que una resistencia nunca se mide conectada**).

Tabla. 4.1

| Potenciómetro | θ_D | V_{inst} | θ_C | V_{prom} | I_{prom} | V_{rms} | I_{rms} |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| $R_1 =$ | k Ω | | | | | | |
| $R_2 =$ | k Ω | | | | | | |
| $R_3 =$ | k Ω | | | | | | |

Tabla. 4.2

| Parámetro | Medición |
|---------------------|----------|
| $R_{potenciómetro}$ | |
| V_{prom} | |
| V_{rms} | |
| I_{prom} | |
| I_{rms} | |
| P_{rms} | |
| P_{prom} | |

- Ahora mide con el Multímetro, voltaje promedio y eficaz, corriente promedio y eficaz que circula por R_2 , y anótala en la Tabla 4.2.
- Calcula la potencia promedio y eficaz que se obtiene en la carga en este momento anotándola en la Tabla 4.2.
- Mueve cuidadosamente tu potenciómetro hacia un lado y hacia el otro observando la señal de la carga en el osciloscopio. Anota tus comentarios acerca de lo que ocurre.

Cuestionario

- ¿Cuál es la diferencia entre un rectificador no controlado, semi controlado y controlado?. Explica detalladamente.
- De la Fig. 4.1; ¿Por qué si el SCR es un dispositivo unidireccional puede controlar los dos semiciclos?
- ¿Qué sucedería con el voltaje de salida (carga) si conectamos las terminales extremas del secundario del transformador a las entradas de ca del puente rectificador?
- ¿Qué tipo de cargas podemos alimentar con este tipo de salida?
- ¿Qué pasaría si se sustituye R_2 por un motor de cd de 12 V y variamos el potenciómetro?
- ¿Qué sucedería si se quita uno de los dos diodos (D_1, D_2) ?

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 5

PUT como dispositivo de disparo

Tema

1. Tema 4.1: Circuitos de Disparo del SCR.

Objetivo

- Comprender al PUT como dispositivo de disparo para los tiristores.
- Analizar el funcionamiento del circuito oscilador de relajación con PUT.
- Diseñar un circuito de disparo con PUT a una frecuencia específica.

Introducción

El nombre PUT proviene de las siglas inglesas Programmable Unijunction Transistor (transistor mono unión programable). El PUT es un semiconductor de cuatro capas (pnpn) cuyo funcionamiento es similar al del UJT. Aunque tienen nombres similares, el UJT y el PUT son diferentes en construcción y en modo de operación. La designación se ha hecho con base a la que presentan características voltaje-corriente y aplicaciones similares. Mientras que el UJT es un dispositivo de dos capas, el PUT lo es de cuatro capas. El término programable es usado porque los valores de R_{bb} , η y V_p pueden controlarse mediante una red externa.

Para tener un diseño exitoso, la corriente de ánodo debe estar entre las corrientes I_p e I_v , de no estarlo, el dispositivo no oscilará. Por ello, se debe tener cuidado al diseñar la impedancia equivalente $R_g(R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2))$ y el voltaje de alimentación, ya que estos parámetros modifican directamente los valores de corriente ya mencionados.

Actividad previa

1. Realiza un resumen del PUT, indicando:
 - a) ¿Qué significan las siglas PUT?
 - b) Su estructura interna.
 - c) El nombre de todas y cada una de sus terminales.
 - d) Su símbolo.
 - e) Su curva característica V-I.
 - f) La explicación sucinta con tus propias palabras, de su funcionamiento.
2. Investiga en Internet el Data Sheet del PUT 2N6027, y anota A MANO los parámetros principales y la configuración de pines. (Conserva todo el Data Sheet a la mano, en archivo electrónico o en papel).
3. Realiza el análisis teórico del circuito oscilador de la Fig. 5.1, utilizando una magnitud para R_E de $10\text{ k}\Omega$ y un Voltaje de Valle $V_v = 1.0\text{ V}$. **Dibuja en papel milimétrico** las formas de onda obtenidas en el Capacitor C_E y en la Resistencia R_C , señalando Voltaje máximo, mínimo y periodo para cada una de ellas.
4. Simula el circuito de la Fig. 5.1 de tal manera que entregue un pulso cada 2.0 ms . Dibuja en papel milimétrico las formas de onda en el Capacitor y en la Resistencia de salida señalando Voltaje máximo, mínimo y periodo para cada una de ellas.

Equipo

- 1 fuente de voltaje *cd*.
- 1 multímetro.
- 1 osciloscopio.

Material

- 1 rectificador controlado de silicio C106D (SCR).
- 1 resistencia de $50\text{ k}\Omega$ R_E .
- 1 resistencia de $5.6\text{ k}\Omega$ R_1 .
- 1 resistencia de $2.2\text{ k}\Omega$ R_3 .
- 1 resistencia de $0.1\text{ k}\Omega$ a 0.5 W , R_{carga} .
- 1 resistencia de $0.1\text{ k}\Omega$ a 0.5 W , R_C .
- 1 resistencia de $1\text{ k}\Omega$ R_2 .

- 1 capacitor de $0.1 \mu\text{F}$ C_E .
- 1 transistor PUT 2N6027.
- 1 diodo zener 4746.
- 2 potenciómetros, $500 \text{ k}\Omega$, $1 \text{ M}\Omega$.
- 1 transformador monofásico con derivación central de $127/24 V_{ca}$ a 0.5 A , con clavija para conectarse.

Procedimiento experimental

1. Arme el circuito de la Fig. 5.1.

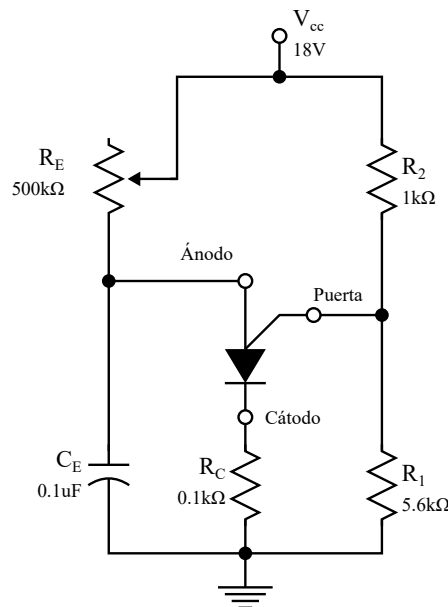


Fig. 5.1: Oscilador de relajación con PUT.

2. Observa con ayuda del osciloscopio los voltajes obtenidos en el Capacitor C_E y en la Resistencia R_C , al mismo tiempo.
3. Dibuja en papel milimétrico ambas señales una debajo de la otra, teniendo cuidado de anotar la Amplitud, el periodo y la frecuencia de cada una.
4. Mide con el Osciloscopio los voltajes: Voltaje pico (V_p), mínimo (V_{min}), periodo (T) y frecuencia (f) de las dos señales y anótalas en la Tabla 5.1.
5. Mueve el potenciómetro desde 0Ω hasta su máxima resistencia y explica lo que sucede en el capacitor C_E y la resistencia R_C .
6. De todo el rango de frecuencias observadas en el punto anterior, elige 3 de ellas para dibujarlas en papel milimétrico, compáralas y evidencia los cambios. Anota el valor de la resistencia R_E de cada caso.

Tabla. 5.1

| Voltaje | V_p (V) | V_{min} (V) | T (ms) | f (Hz) |
|----------|-----------|---------------|----------|----------|
| V_{CE} | | | | |
| V_{RC} | | | | |

7. Anota en la Tabla 5.2 las magnitudes solicitadas de cada una de las frecuencias elegidas.

Tabla. 5.2

| Elección | Señal | V_{min} (V) | V_{max} (V) | T (ms) |
|----------|-------|---------------|---------------|----------|
| 1 | C_E | | | |
| | R_C | | | |
| 2 | C_E | | | |
| | R_C | | | |
| 3 | C_E | | | |
| | R_C | | | |

8. Arme el circuito de la Fig. 5.2.

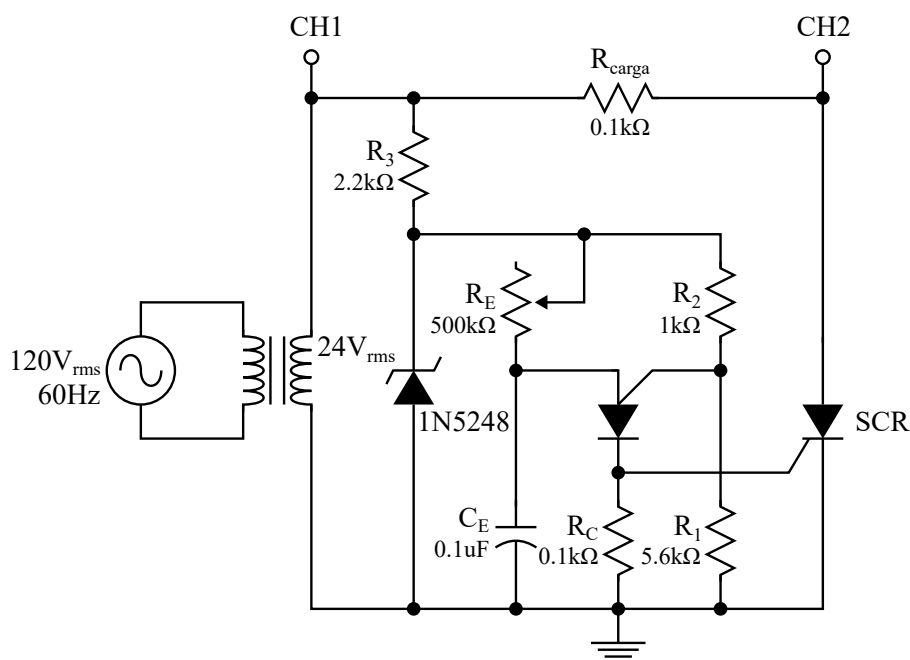


Fig. 5.2

9. Con las puntas atenuadoras del osciloscopio posicionadas en X10, observa los voltajes obtenidos en el secundario de la fuente de alimentación (CH1) y en el ánodo del SCR (CH2), al mismo tiempo. Mueve el potenciómetro y presta atención a lo que sucede.

10. Presiona el botón del osciloscopio “MATH MENU” y elige la opción “CH1 - CH2”.

11. **Dibuja en papel milimétrico** las tres señales una debajo de la otra, teniendo cuidado de anotar la Amplitud, el periodo y la frecuencia de cada una.

Cuestionario

1. ¿Qué otros dispositivos pueden ser utilizados para realizar el disparo de un SCR?
2. ¿Cómo es activado un SCR? Y ¿Cómo es que un PUT es útil para disparar un SCR?
3. Investiga cuales son las principales diferencias entre el transistor UJT y PUT.

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 6

Convertidor CC-CC (Troceador)

Tema

1. Tema 7.2: Troceadores (Chopper).

Objetivo

- Comprobar el funcionamiento de un convertidor $cc - cc$ reductor.
- Utilizar las curvas características de un transistor PUT, para la generación de una señal diente de sierra.

Introducción

Los convertidores $cc - cc$ forman normalmente parte de un sistema de conversión $ca - cc$, donde su alimentación es voltaje continuo no regulado, el cual es obtenido mediante la rectificación de la red alterna. La misión de este tipo de convertidores es transformar la entrada de voltaje continuo no regulado en un voltaje regulado de salida y con un nivel deseado, para los rangos de carga especificados en su diseño. En particular para un determinado voltaje de entrada, el voltaje medio de salida es gobernada mediante los tiempos en que el interruptor del convertidor conduce o no conduce.

El regulador proporciona una salida de corriente constante y un rizo de voltaje de salida muy pequeño, aumentando el ciclo de trabajo puede aumentar el voltaje de salida hasta un valor no mayor a su alimentación.

El regulador es muy útil ya que se puede variar el voltaje de salida mayor a la alimentación del comparador, pero no se tiene suficiente control para valores muy pequeños o muy grandes del voltaje de salida.

En particular para un determinado voltaje de entrada, el voltaje medio de salida es gobernada mediante los tiempos en que el interruptor del convertidor conduce o no conduce. Estos

tiempos se denominan $T_{on} - T_{off}$. El método más utilizado para el control del voltaje de salida es el denominado “Modulación por Ancho de Pulsos (PWM)”, y consiste en emplear un periodo de conmutación constante, $T_S = T_{on} - T_{off}$ de forma que variando el tiempo de conducción T_{on} , es posible controlar el voltaje medio de salida y el parámetro ciclo de servicio δ (Duty Cycle).

Actividad previa

1. Simula el circuito de la Fig. 6.1. Anota la magnitud del potenciómetro al momento de que se generan las primeras rampas en el punto A.
2. Utilizando la magnitud del potenciómetro anotada en el punto anterior, calcula la frecuencia de oscilación del PUT que se obtendría en el circuito de la Figura 6.1.
3. Dibuja en papel milimétrico las formas de onda obtenidas en el ánodo y cátodo acotándolas debidamente.
4. Calcula la corriente que circulara por el emisor del TIP31A ($\beta = 25$), considerando un voltaje de base de 9.7 V y una impedancia del motor de 12Ω .

Equipo

- 1 Osciloscopio.
- 1 multímetro.
- 1 fuente de voltaje de cc.

Material

- 1 CI LM741.
- 1 potenciómetro de $500 \text{ k}\Omega$.
- 1 potenciómetro de $1 \text{ M}\Omega$.
- 1 PUT 2N6027.
- 1 TIP31A, B, C (No usar TIP31).
- 1 resistencia de $120 \text{ k}\Omega$.
- 2 resistencias de $0.1 \text{ k}\Omega$ a 0.5 W .
- 1 resistencia de $10 \text{ k}\Omega$.
- 1 resistencia de $5.6 \text{ k}\Omega$.
- 1 resistencia de $22 \text{ k}\Omega$.
- 1 capacitor de $0.02 \mu\text{F}$.
- 1 motor de 12 V_{cd} (No mayor a 1 ampere).

Tabla. 6.1

| Parámetros en A | Mediciones |
|-----------------|------------|
| V_{min} (V) | |
| V_p (V) | |
| Periodo (ms) | |

Procedimiento experimental

1. Arma el circuito de la Fig. 6.1. Conecta el canal 1 (CH1) del osciloscopio en el punto A. Gira el potenciómetro hasta obtener una señal rampa. Anota los valores que se te piden en la Tabla 6.1.

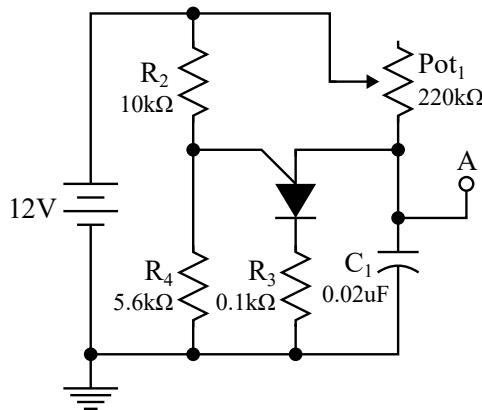


Fig. 6.1

2. Arma el circuito de la Fig. 6.2, sin cerrar el interruptor. Los indicadores A, B, C, y V_{ref} son los puntos donde se tomarán mediciones.

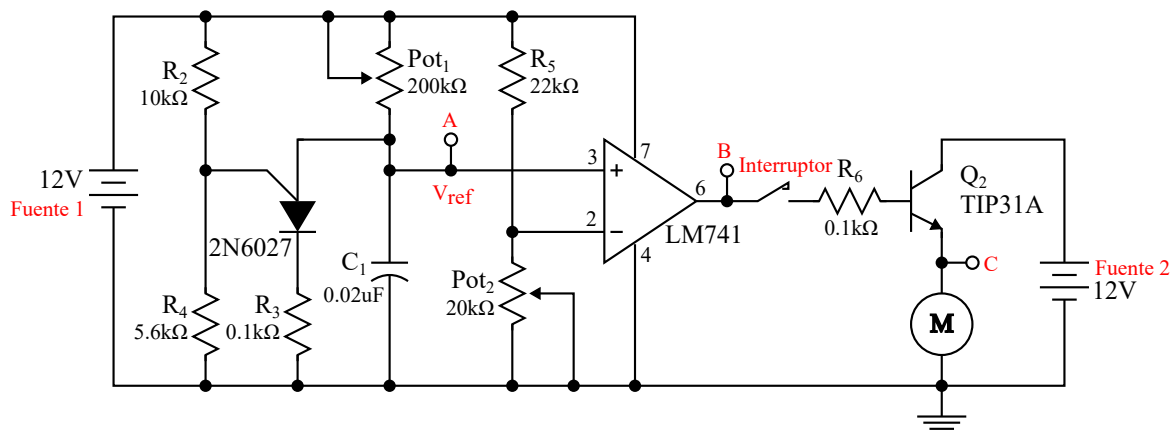


Fig. 6.2: Troceador

3. Conecta el canal 2 (CH2) del osciloscopio en el punto "B". Ajusta el potenciómetro 2 de tal manera que se visualice una señal cuadrada con el mínimo ancho posible. Anota el voltaje promedio de referencia (CH1).

- Dibuja en papel milimétrico la forma de onda obtenida en el canal 2 (CH2) del osciloscopio para 3 diferentes magnitudes del potenciómetro 2 acotándolas debidamente; anota además los parámetros solicitados en la Tabla 6.2.

Tabla. 6.2

| Parámetros | Potenciómetro Magnitud 1 | Potenciómetro Magnitud 2 | Potenciómetro Magnitud 3 |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| V_{prom} (V) (CH2) | | | |
| V_{rms} (V) (CH2) | | | |
| Periodo (ms) (CH2) | | | |
| Ancho de pulso (ms) (CH2) | | | |
| V_{pico} (CH2) | | | |
| V_{ref} (CH1) | | | |

- Cierra el interruptor; con ayuda del voltímetro mide el voltaje promedio en el punto C y con el osciloscopio (CH2) el ancho de pulso en B.
- Dibuja en papel milimétrico 3 anchos de pulso diferentes obtenidos mediante la variación de la magnitud del potenciómetro 2, anótalos en la Tabla 6.3.

Tabla. 6.3

| Parámetros | Potenciómetro Magnitud 1 | Potenciómetro Magnitud 2 | Potenciómetro Magnitud 3 |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| V_{prom} en C (V) (voltímetro) | | | |
| Periodo (ms) (CH2) | | | |
| Ancho de pulso (ms) (CH2) | | | |
| V_{ref} (CH1) | | | |

- Realiza una Tabla comparativa, donde incluyas los valores obtenidos en la simulación y los obtenidos en la práctica. Explica ampliamente tus resultados.

Cuestionario

1. ¿Qué función cumple el PUT en este circuito?
2. Si se incrementa el valor del potenciómetro a $50\text{ k}\Omega$, ¿Qué sucederá con el funcionamiento del motor?
3. Investiga un sustituto para el comparador LM741, menciona sus características y tolerancias.
4. ¿Qué utilidad le darías a esta práctica?
5. ¿Qué voltaje máximo puede controlar este circuito?

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 7

Convertidor de CD a CA (Inversor monofásico autónomo)

Tema

1. Tema 7.4: Inversores.

Objetivo

- Construir un inversor monofásico autónomo estático utilizando un transformador con derivación central y como método de regulación de voltaje:
 1. Modulación de anchura de un solo pulso por semi ciclo.
 2. Variación de la magnitud del banco de Baterías.
- Observar el tipo de onda entregada y el método utilizado para la regulación de voltaje.

Introducción

Un inversor es un conjunto de circuitos eléctricos, electrónicos y una batería eléctrica, que es capaz de proporcionar voltaje en corriente alterna simétrica de salida; con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario en presencia o ausencia de voltaje en la red de alimentación; con el objeto de alimentar una carga.

Los inversores son utilizados en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para manejar alta potencia.

Hoy en día son utilizados para convertir la corriente continua proveniente de los paneles solares fotovoltaicos que recargan los bancos de baterías, en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

El término autónomo se refiere a aquellos que pueden producir cualquier magnitud de frecuencias; en cambio los dependientes toman la frecuencia de la fuente de alimentación (CFE), esto con la finalidad de que en un momento dado de que esta falle (ya sea por bajo voltaje o corte del mismo) se transfiera su salida a la misma carga y no se produzca un corto circuito al hacerlo.

Actividad previa

- Dibujar en papel milimétrico las señales que se esperan obtener en las salidas V_{s1} a V_{s4} del circuito de la Fig. 7.4, para un voltaje de referencia (V_{ref}) de 2.5 V, acotándolas debidamente.
- Realizar la simulación del circuito.

Equipo

- Fuente bipolar de voltaje.
- Fuente *cc* variable.
- Generador de funciones.
- Multímetro.
- Osciloscopio.
- Tableta de conexiones.
- Punta de osciloscopio con atenuación 10X.

Material

- Cables banana – caimán.
- 4 resistencias de 39 k Ω a 0.5 W.
- 2 resistencias de 120 Ω a 0.5 W.
- 1 resistencia de 22 k Ω a 0.5 W.
- 1 resistencia de 10 k Ω a 0.5 W.
- 2 resistencias de 0.12 k Ω a 0.5 W.
- 1 potenciómetro de 20 k Ω a 0.5 W.
- 1 resistencia de 22 M Ω a 1 W.
- 2 transistores TIP31A.

- 1 transformador con derivación central ($127V_{ca}$ a $24V_{ca}$) a 500 mA.
- 3 C.I. LM741.
- 4 diodos 1N4001.
- 1.5 m de cable telefónico.

Procedimiento experimental



¡PRECAUCIÓN!
TENGA CUIDADO YA QUE EN EL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR EXISTE UN ALTO VOLTAJE.

1. Calibre el generador de funciones para que se obtenga una señal triangular de alterna $20V_{pp}$ simétrica con el eje del tiempo con una frecuencia de 60 Hz.
2. Arme el circuito de la Fig. 7.1, verificando con el osciloscopio que las salidas V_{s1} (CH1), V_{s2} (CH2) sean señales de alterna, simétricas con respecto al eje del tiempo y que se encuentren desfasadas entre si 180° . Apague las fuentes.

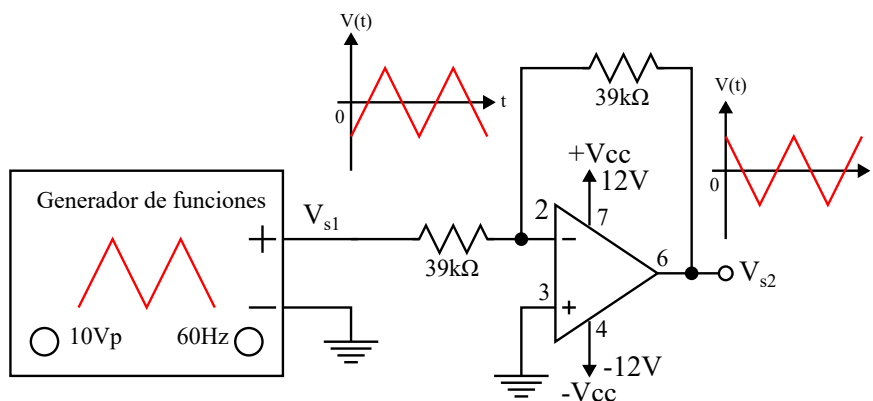


Fig. 7.1

I. Regulación por anchura de pulso.

3. Arme el circuito de la Fig. 7.2, asegúrese de conectar las salidas V_{s1} y V_{s2} como se indica. Encienda las fuentes, mueva el potenciómetro y observe con el osciloscopio las salidas V_{s3} (CH1) y V_{s4} (CH2) asegurándose de que dichas señales varíen su ancho. Apague las fuentes.
4. Arme el circuito la Fig. 7.3, conecte las salidas V_{s3} y V_{s4} a las bases de los transistores como se indica. El circuito final se muestra en la Fig. 7.4.

Nota: Debido a que no se cuentan con suficientes fuentes, la batería (V_{bat}) será necesario utilizar la fuente variable de la mesa de a lado, utilizando el cable telefónico.

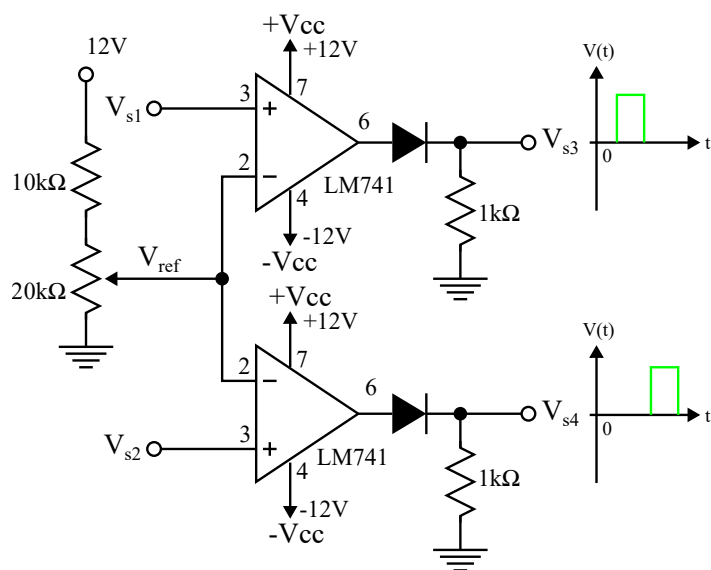


Fig. 7.2

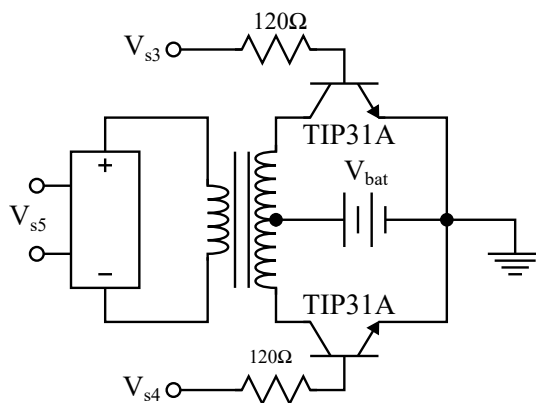


Fig. 7.3

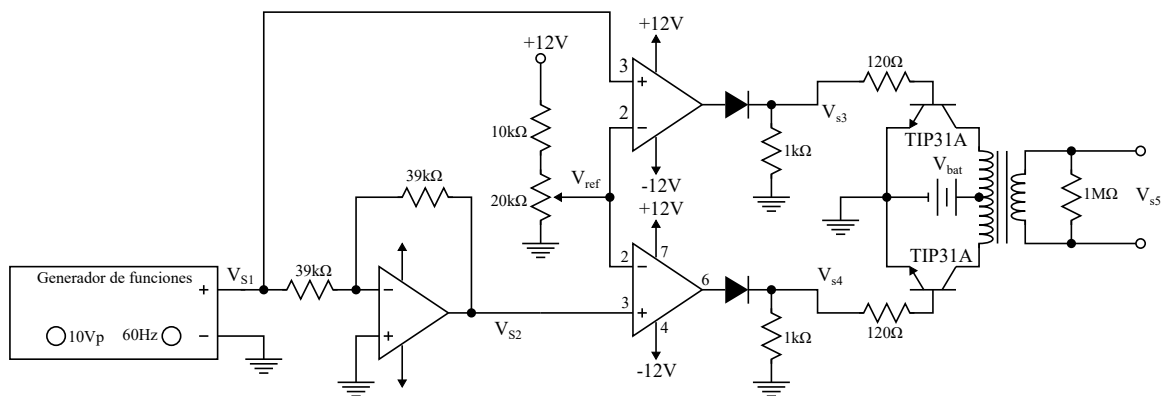


Fig. 7.4

5. Calibre la fuente V_{bat} a $12V_{CC}$, encienda las fuentes.
6. Conecte la punta atenuadora del osciloscopio (CH1) en paralelo con la carga asegurándose de posicionarlo en la escala 10X. Debido a la diferencia de referencias no es posible medir

al mismo tiempo las señales de electrónica y de potencia.

7. Varíe el potenciómetro y observe como al variar el ancho de pulso también varia el voltaje de salida V_{s5} .
8. Llene la Tabla 7.1 para 3 diferentes magnitudes del potenciómetro. Dibuje en papel milimétrico las señales observadas anotando los voltajes máximos, mínimo, periodo y duración de ciclo.

Tabla. 7.1

| Parámetros en V_{s5} | Potenciómetro Magnitud 1 | Potenciómetro Magnitud 2 | Potenciómetro Magnitud 3 |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| V_p (V) | | | |
| V_{rms} (V) | | | |
| V_{prom} (V) | | | |
| Periodo (ms) | | | |
| Ancho del semiciclo (+) (ms) | | | |
| Ancho del semiciclo (-) (ms) | | | |

I. Regulación por variación de la magnitud de la batería.

9. Posicione la magnitud del potenciómetro hasta obtener el ancho de pulso máximo.
10. Varíe la magnitud de la fuente de CC (V_{bat}) a $6 V_{cc}$.
11. Llene Tabla 7.2 para 3 distintas magnitudes de la fuente de cc (V_{bat}). Dibuje en papel milimétrico las señales observadas anotando los voltajes máximos, mínimo, periodo y duración de cada semiciclo.

Tabla. 7.2

| Parámetros en V_{s5} | $V_{bat} = 6 V$ | $V_{bat} = 9 V$ | $V_{bat} = 12 V$ |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| V_p (V) | | | |
| V_{rms} (V) | | | |
| V_{prom} (V) | | | |
| Periodo (ms) | | | |
| Ancho del semiciclo (+) (ms) | | | |
| Ancho del semiciclo (-) (ms) | | | |

Cuestionario

1. Calcule V_{rms} y V_{prom} utilizando las fórmulas generales para el cálculo de las mismas, de las señales obtenidas en las Tablas 7.1 y 7.2 (6 en total) y compárelos con las mediciones obtenidas en la práctica.
2. ¿Cuántas configuraciones existen para los inversores de potencia?
3. ¿Cuántos métodos de regulación existen para los inversores de potencia?
4. ¿Cuáles son las armónicas presentes en V_{s5} , y que se tendría que hacer para disminuirlas?
5. Si se desea obtener una señal senoidal en V_{s5} ; ¿Qué se tendría que hacer?
6. Basándose en el circuito armado en la práctica; ¿de qué depende la frecuencia de salida?

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 8

Controlador bidireccional con TRIAC

Tema

1. Tema 7.5: Funcionamiento de los circuitos convertidores AC - AC.

Objetivo

- Observar la operación y formas de onda de un TRIAC.
- Comprender los conceptos bidireccional y unidireccional de un dispositivo de control.

Introducción

Existen en el mercado dispositivos de control de potencia unidireccionales (SCR) y bidireccionales (TRIAC), que permiten limitar la cantidad de corriente que circula a través de una carga, mediante la manipulación del ángulo de conducción de dichos dispositivos. Dicho ángulo de conducción se logra haciendo cumplir las condiciones de disparo I_{GT} y V_{GT} especificadas en el manual del fabricante. Tomando como ejemplo el circuito de la Fig. 8.1, y las especificaciones de disparo para el TRIAC “BTA08400B” del fabricante “SGS THOMSON” (ST), quien especifica un voltaje y corriente de disparo V_{GT} de 1.5 V e I_{GT} de 50 mA, con lo que se entiende que para cada voltaje instantáneo en que se requiera que se active el TRIAC, se deberán calcular los valores de R y C para que se cumplan dichas condiciones; lo cual resultaría inoperante si se requiere tener un amplio rango de variación de disparos. Esto se resuelve adicionando un potenciómetro quien nos ayudara a cumplir diferentes condiciones de disparo (I_{GT} , V_{GT}) sin modificar el circuito; véase Fig. 8.2.

Cabe señalar que el capacitor C junto con la resistencia R y el Potenciómetro nos darán diferentes tiempos de disparo (ωt).

En la Fig. 8.3 se observa la señal de alimentación sin manipulación, y en la Fig. 8.4 la señal a través de la carga correspondiente a un ángulo de disparo de 90° , que corresponden a 4.166 ms ($16.666 \text{ ms}/4$), lo que traería como consecuencia una disminución en la intensidad luminosa del

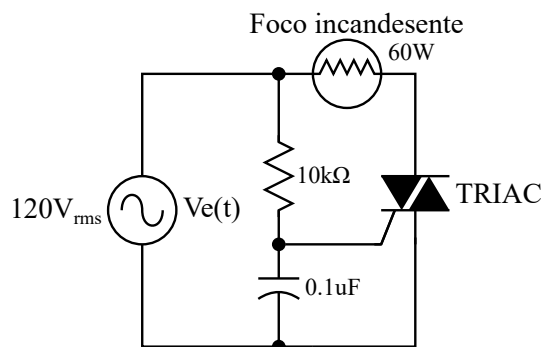


Fig. 8.1

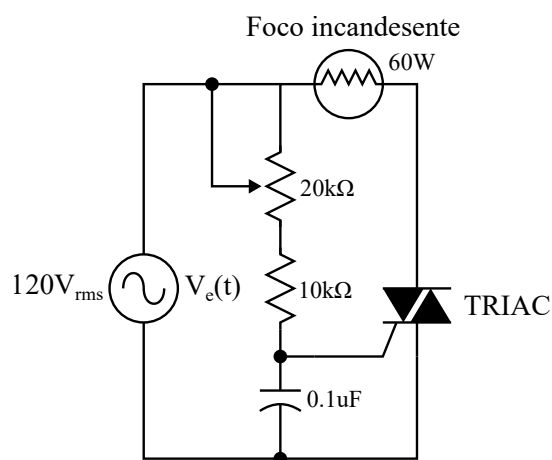


Fig. 8.2

foco. Resulta obvio que para obtener diferentes ángulos de disparo, y en consecuencia diferentes intensidades luminosas, bastara con variar la magnitud del potenciómetro.

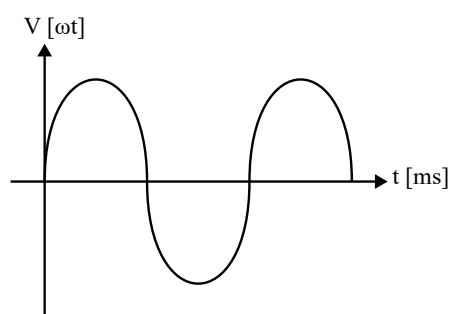


Fig. 8.3

Debido a que el TRIAC es un dispositivo bidireccional, es capaz de controlar tanto el semiciclo positivo como el negativo de la señal senoidal. El sentido de circulación de la corriente a través del dispositivo, será de un potencial mayor (+) a uno menor (-); por ejemplo si existe un potencial mayor en la terminal M_{T2} con respecto a M_{T1} , la circulación de la corriente será de M_{T2} a M_{T1} en el momento en que se le aplique el disparo en la terminal de puerta; de lo contrario el comportamiento es como si fuera un circuito abierto. Cuando el potencial es mayor en M_{T1} con respecto a M_{T2} , la circulación de corriente será en ese sentido, hasta que se aplique

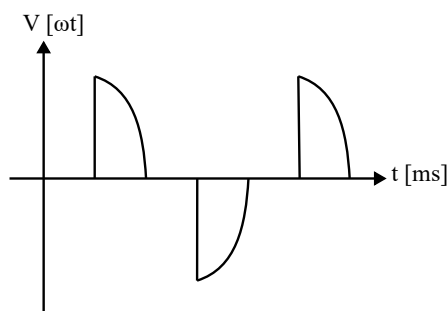


Fig. 8.4

el pulso de disparo.

El circuito que se está proponiendo para su implementación se le conoce en el mercado como **dimmer**, **regulador**, **atenuador**; el cual sirve para regular la energía en uno o varios focos, con el fin de variar la intensidad de la luz que emiten (siempre y cuando las propiedades de la lámpara lo permitan). Regular la energía significa variar su intensidad, adaptándola de este modo al nivel deseado por el usuario.

Hoy en día la regulación es un aspecto de gran utilidad y de gran demanda, no sólo desde un punto de vista de ahorro energético, sino también desde un punto de vista de confort, ya que podemos adaptar la luz para cada estancia y cada momento.

Equipo

- 1 osciloscopio.
- Puntas atenuadoras.
- 1 multímetro digital.
- 1 foco incandescente (60 W).
- 1 socket cableado para el foco.
-

Material

- 1 resistencia de $10\text{ k}\Omega$ a 1 W.
- 1 potenciómetro de $20\text{ k}\Omega$ (de preferencia de precisión).
- 1 capacitor de $0.1\text{ }\mu\text{F}$.
- 1 diodo 1N4001.
- 1 TRIAC BTA08 400B.
- 1 clavija con 0.5 m de cable del número 14.

Actividad previa

1. Realiza un resumen del TRIAC, indicando:
 - a) Lo que significan las siglas TRIAC.
 - b) Quién lo lanzó al mercado y en qué año.
 - c) Su estructura interna.
 - d) El nombre de todas y cada una de sus terminales.
 - e) Su símbolo.
 - f) Circuito equivalente.
 - g) Su curva característica V-I.
 - h) La explicación sucinta con tus propias palabras, de su funcionamiento.
2. Calcule el voltaje Eficaz que se obtiene en la carga, para un ángulo de disparo del TRIAC:
 - a) 0° .
 - b) 90° .
3. Calcule el voltaje Eficaz que se obtiene en la carga para un ángulo de disparo del TRIAC, funcionando como SCR:
 - a) 0° .
 - b) 90° .
4. Investiga en Internet el Data Sheet del TRIAC BTA08600B y anota A MANO las características principales y su configuración de pines. (Conserva todo el Data Sheet a la mano, en archivo electrónico o en papel).

Procedimiento experimental



¡IMPORTANTE!

Debe tener cuidado en todo el desarrollo de esta práctica puesto que se está utilizando alto voltaje.

Desconecte el circuito cada que vaya a hacer alguna modificación en el circuito.

Cuida que los cables no se junten.

1. Arme el circuito de la Fig. 8.5, asegurándose de conectar la FASE en el nodo formado por la resistencia de $10\text{ k}\Omega$ y el foco incandescente; el NEUTRO en el nodo formado por el capacitor y M_{T1} .
2. Con una punta atenuadora del osciloscopio posicionada en el rango 10X, mida la señal que se presenta en el TRIAC (M_{T2}), asegurándose de conectar el caimán de la punta en M_{T1} (neutro).

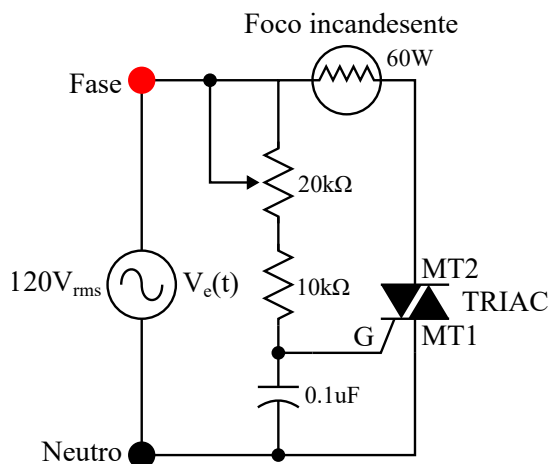


Fig. 8.5

3. Llene la Tabla 8.1 con los valores que se te piden para 4 diferentes posiciones del potenciómetro. Dibuje las señales visualizadas para cada caso. Anota los comentarios pertinentes de lo que sucede. (V_{inst} : Voltaje instantáneo; θ_D : Ángulo de Disparo; θ_C : Ángulo de Conducción.)

Tabla. 8.1

| Posición | V_{inst} | $\theta_D (+)$ | $\theta_C (+)$ | $\theta_D (-)$ | $\theta_C (-)$ |
|----------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |

4. Desconecte el circuito.
5. Coloque el diodo rectificador, como se muestra en la Fig. 8.6. Conecte el circuito a la línea.
6. Repita el paso 2. Llene la Tabla 8.2 con los valores que se te piden para 4 diferentes posiciones del potenciómetro. Dibuje las señales visualizadas para cada caso. Anota los comentarios pertinentes de lo que sucede. (V_{inst} : Voltaje instantáneo; θ_D : Ángulo de Disparo; θ_C : Ángulo de Conducción.)

Tabla. 8.2

| Posición | V_{inst} | $\theta_D (+)$ | $\theta_C (+)$ |
|----------|------------|----------------|----------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |

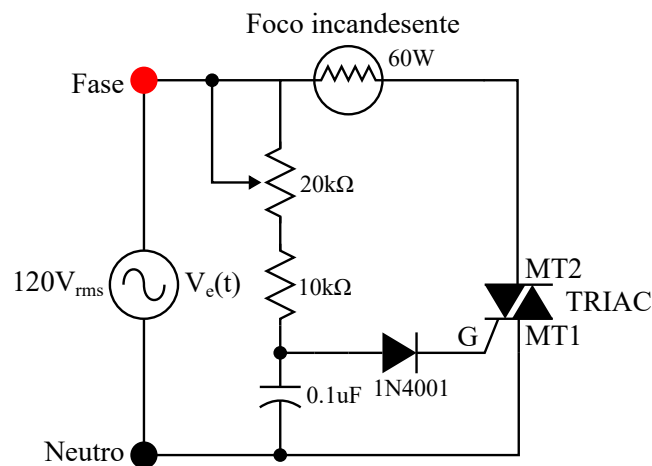


Fig. 8.6

7. Desconecte el circuito.
8. Invierta el diodo, de la manera que se observa en la Fig. 8.7. Conecta el circuito a la línea.

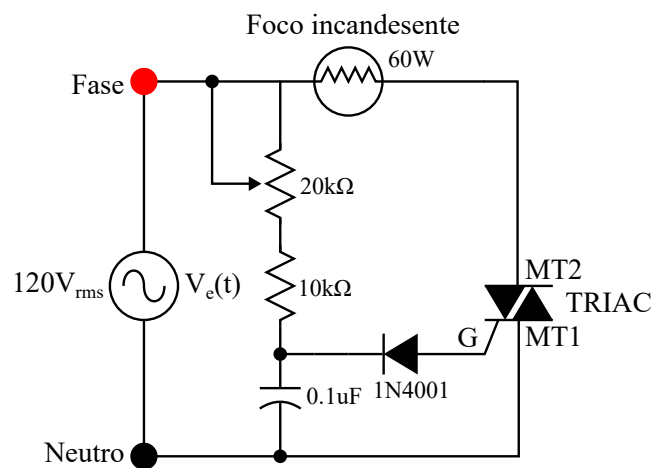


Fig. 8.7

9. Repita el paso 2. Llene la Tabla 8.3 con los valores que se te piden para 4 diferentes posiciones del potenciómetro. Dibuje las señales visualizadas para cada caso. Anota los comentarios pertinentes de lo que sucede. (V_{inst} : Voltaje instantáneo; θ_D : Ángulo de Disparo; θ_C : Ángulo de Conducción.)
10. Desconecte el circuito.

Cuestionario

1. ¿A qué se refiere la especificación del fabricante “ALL QUADRANT” (TODOS LOS CUADRANTES)?

Tabla. 8.3

| Posición | V_{inst} | $\theta_D (-)$ | $\theta_C (-)$ |
|----------|------------|----------------|----------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |

2. ¿Cuántos métodos de disparo existen para los SCR y TRIACs? Explique ampliamente.
3. ¿Será posible hacer operar al TRIAC como un SCR y viceversa? Explique ampliamente.
4. ¿Qué otros dispositivos puedes utilizar para disparar a un TRIAC?

Conclusiones

Bibliografía

Bibliografía

1. Timothy J. Maloney
Electrónica Industrial Moderna
Prentices Hall
Tercera edición
2. Thomas L. Floy
Dispositivos Electrónicos
Pearson
Octava edición
3. Muhammad H. Rashid
Electrónica de potencia
Prentice Hall
4. Heinz Piest
Electrónica de Potencia IV
Edibosco
5. Charles K. Alexander
Fundamentos de Circuitos Electrónicos
Mc Graw Hill
6. Ramón Pallas Areny
Adquisición y Distribución de Señales
Boixareu Editores
7. Daniel W. Hart
Electrónica de Potencia
Prentice Hall