

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica



TRABAJO DE DIPLOMA

Material de estudio teórico y práctico sobre reguladores estáticos de tensión para la asignatura de Electrónica de Potencia.

Autor: Carlos Manuel López Aparicio

Tutores: Ing. Jorge Denis Raimundo Tagle

MsC. Leonardo Rodríguez Jiménez

Santa Clara

2016

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica



TARBAJO DE DIPLOMA

Material de estudio teórico y práctico sobre reguladores estáticos de tensión para la asignatura de Electrónica de Potencia.

Autor: Carlos Manuel López Aparicio

e-mail: claparicio@uclv.cu

Tutores: Ing. Jorge Denis Raimundo Tagle

denisrt@uclv.cu

MsC. Leonardo Rodríguez Jiménez

leonardo@uclv.edu.cu

Santa Clara

2016



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Eléctrica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.

Mahatma Gandhi

Dedicatoria

A toda mi familia, especialmente a mis padres

Agradecimientos

A mis padres por su ejemplo y guía, por permitirme una vida plena y feliz.

A toda mi familia, por creer en mí y apoyarme en todo momento.

A mi novia Ariadna por formar parte de mi vida y llenarla con su amor y comprensión.

A mis tutores Jorge y Leonardo por sus consejos y ayuda.

A mis amigos, Maddiel, César, Ariam, Eduardo, Chiqui, Jarvis, Brayan, Alfredo, Sergio por brindarme su amistad y hacer de mis problemas los suyos.

A todos mis compañeros de estudio por compartir tantos momentos juntos a lo largo de estos años.

A mis profesores, quienes con su profesionalidad y sabiduría me convirtieron en una mejor persona.

A todas las personas que de una forma u otra han hecho posible este trabajo de diploma.

A todos muchas gracias

Tarea técnica

- Realización de una revisión bibliográfica del tema de los reguladores estáticos de tensión (RET).
- Utilización de las potencialidades del software Proteus 8 Professional, que permitan desarrollar los conocimientos del estudiante en el área de la implementación y simulación.
- Elaboración de un material de estudio donde queden actualizados los contenidos teóricos y prácticos sobre el tema de los RET utilizando los textos básicos y materiales publicados en Internet, así como la implementación de laboratorios, reales y virtuales, mostrando varias de sus aplicaciones.

Resumen

El presente trabajo de diploma tiene como objetivo realizar prácticas de laboratorios reales y simuladas sobre reguladores estáticos de tensión para la asignatura de Electrónica de Potencia. Para esto será analizada la bibliografía existente sobre el tema, tratando las posibles configuraciones y tipologías de cada uno de ellos; se implementarán y simularán circuitos seleccionados para las prácticas de laboratorio. El funcionamiento de estos será validado mediante el montaje real en el laboratorio de accionamientos eléctricos. Se realizarán informes de estas prácticas. Luego de realizadas se obtuvieron los resultados esperados, montando tres circuitos, en los que fue necesario sustituir algunos de los elementos debido a la no existencia de estos en el mercado. Fue confeccionado un manual de prácticas de laboratorios para ser utilizados en la asignatura Electrónica de Potencia.

Tabla de contenido

Pensamiento	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos	iii
Tarea técnica.....	iv
Resumen.....	v
Introducción	1
Capítulo 1. Fundamentos teóricos de los Reguladores Estáticos de Tensión.....	4
1.1 Convertidores.....	4
1.2 Tipos de convertidores.....	5
1.3 Clasificación de los convertidores CD/CD.....	8
1.3.1 Tipologías sin aislamiento galvánico	9
1.3.2 Tipologías con aislamiento galvánico.....	12
1.3.3 Troceadores.....	21
1.4 Convertidores CA/CA o reguladores estáticos de alterna.....	30
1.5 Campos de aplicación.....	36
Conclusiones del capítulo.....	37
Capítulo 2 Implementación de prácticas de laboratorio	38
2.1 Importancia de las prácticas de laboratorio	38
2.2 Software Proteus 8 Professional	40
2.3 Desarrollo simulado de los laboratorios	41
2.3.1 Convertidor CD de 12V a 9V.....	42
2.3.2 Fuente de voltaje CD de 5V y 9V	45
2.3.3 Elevador de voltaje CD 12V a 24V.....	47

2.4 Montaje real de los laboratorios.....	49
Conclusiones del capítulo	51
Capítulo 3 Resultados obtenidos en el montaje de los laboratorios.....	52
3.1 Reductor de voltaje CD de 12V a 9V	52
3.2 Fuente de voltaje CD de 5V y 9V	54
3.3 Elevador de voltaje CD de 12V a 24V.....	57
Conclusiones del capítulo	60
Conclusiones	62
Recomendaciones	63

Introducción

El desarrollo de la electrónica de estado sólido en los últimos años ha posibilitado la evolución de todas las ramas de la electrónica, y entre ellas la electrónica de potencia, que se ha beneficiado de la aparición de conmutadores de estado sólido que permiten reducir el volumen y prestaciones de los equipos de conversión de energía, imprescindibles en la mayoría de las aplicaciones domésticas e industriales actuales. Como resulta conocido, el más maduro, eficiente y fiable de todos los convertidores existentes es el transformador, que presenta como inconvenientes más importantes su escasa adaptabilidad a sistemas automáticos de control, excepto en el caso del autotransformador servomotorizado, que con una velocidad de respuesta en el rango de las centenas de milisegundos (no hay que olvidar que se trata de sistemas electromecánicos) no puede competir en este aspecto con la electrónica de potencia. Lógicamente, el transformador sólo puede ser utilizado para transformar valores de tensión e intensidad alternos, siendo incapaz de realizar transformaciones de la frecuencia. Desde el punto de vista electromecánico, existen también otros convertidores significativos, como el grupo Ward-Leonard, que utiliza un motor asíncrono para arrastrar un generador de corriente continua en derivación cuya salida se regula mediante una resistencia intercalada en el circuito de excitación. Existen también otros sistemas como la amplidina que pueden ser utilizados para obtener una tensión continua regulable. Sin embargo, prácticamente todos estos sistemas han sido desplazados por la electrónica de potencia, que posee, en general, una mejor relación precio / prestaciones[1, 2].

No hay duda de que la energía eléctrica constituye la fuente básica de energía de los sistemas electrónicos. Sin embargo, esta energía no se produce ni se consume de una forma unificada, o sea, está disponible en diferentes formas: corriente continua, alterna, en forma monofásica o trifásica, pulsante, etc. Es necesario, por tanto, disponer de elementos de conversión que permitan transformar la energía entre los diferentes formatos, con el máximo rendimiento posible[3].

Actualmente, con el desarrollo de la ciencia y la técnica en el mundo y en nuestro país, se utilizan cada vez más en la industria sistemas de accionamiento eléctricos altamente automatizados, instalaciones convertidoras de energía, etc.

Parte del contenido de la asignatura de Electrónica de Potencia se encuentra en formato digital en la red de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, lo cual tiene ventajas debido a que todos los estudiantes pueden acceder al mismo. No obstante, esta información está incompleta y desactualizada, por lo que se plantea la siguiente

Interrogante científica:

¿Cómo proporcionarle al estudiante los conocimientos necesarios, a través de un material actualizado teórico y práctico sobre el tema de los reguladores estáticos de tensión (RET) para su formación en la asignatura Electrónica de Potencia?

La interrogante científica condiciona el siguiente **Objeto de estudio:**

Los Reguladores Estáticos de Tensión.

En correspondencia con la interrogante científica y el objeto de estudio se determinó como **Objetivo general:**

Realizar prácticas de laboratorios reales y simuladas sobre reguladores estáticos de tensión para la asignatura de Electrónica de Potencia.

A partir del objetivo general se plantean los siguientes **Objetivos específicos:**

1. Analizar la bibliografía existente sobre el tema de los RET que se imparte en la asignatura de Electrónica de Potencia.
2. Implementar y simular los circuitos seleccionados para las prácticas de laboratorio.
3. Validar el funcionamiento de los circuitos seleccionados a través del montaje real en el laboratorio de accionamientos eléctricos.
4. Elaborar los informes de las prácticas realizadas.

El trabajo queda estructurado en introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones y referencias bibliográficas.

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1: Fundamentos teóricos de los Reguladores Estáticos de Tensión.

Capítulo 2: Prácticas de laboratorios

Capítulo 3: Resultados de las prácticas

Capítulo 1. Fundamentos teóricos de los Reguladores Estáticos de Tensión

En el capítulo se trata la importancia de los convertidores y su utilización en los diferentes campos de la ciencia y la electrónica, así como en la alimentación y regulación en motores eléctricos. Además, este capítulo constituye un referente teórico para el estudio de los Reguladores Estáticos de Tensión (RET), ya que contiene sus configuraciones, clasificaciones y algunas de las aplicaciones más utilizadas en el área de la ingeniería eléctrica.

Introducción

La electrónica de potencia o electrónica de las corrientes fuertes es una técnica relativamente nueva que se ha desarrollado a partir de la electrónica y la electrotecnia gracias al avance tecnológico que se ha alcanzado en la producción de dispositivos semiconductores.

A continuación se expone la estructura y las características principales de los convertidores electrónicos de energía, indicando sus aplicaciones más comunes, especialmente aquellas orientadas a los accionamientos eléctricos.

1.1 Convertidores

Los convertidores son elementos capaces de alterar las características de la tensión y la corriente que reciben, transformándola de manera optimizada para los usos específicos donde va a ser destinada en cada caso.

El espectacular avance de las telecomunicaciones en los últimos años también ha contribuido en gran medida al aumento del número de equipos electrónicos conectados a la red de distribución eléctrica de baja tensión. Hay estudios que afirman que hasta un 50% de la energía eléctrica consumida hoy en día en los países más desarrollados sufre algún proceso electrónico [4].

Un convertidor de energía es un sistema o equipo electrónico que tiene por objetivo la conversión de energía eléctrica entre dos formas diferentes. Por ejemplo, obtener corriente continua a partir de corriente alterna[5].

El concepto inicial de convertidor puede extenderse para incluir aspectos como: eficiencia, reversibilidad, grado de idealidad, fiabilidad, volumen o tecnología por citar las más importantes.

En la figura 1.1 se muestra la estructura básica de un convertidor.

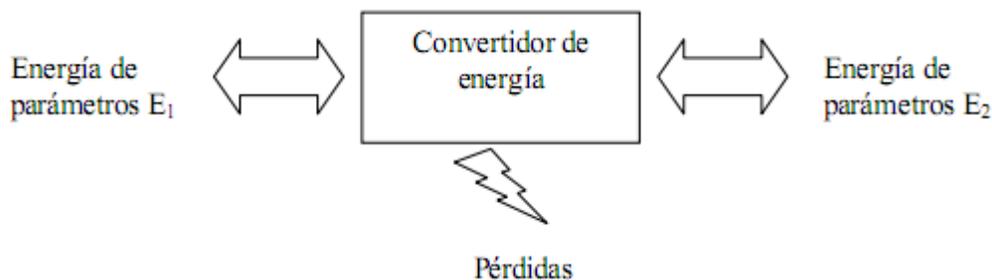


Figura 1.1 Estructura básica de un convertidor electrónico de energía.

Antes de continuar, es necesario definir los parámetros básicos que permiten caracterizar las diferentes formas de manifestación de la energía eléctrica, para lo cual se considera como una primera aproximación que la energía se manifiesta con una estructura periódica, o sea, se desprecian los fenómenos transitorios propios de todos los sistemas electrónicos[5].

1.2 Tipos de convertidores

Los convertidores pueden clasificarse según diferentes criterios. Uno de los más comúnmente utilizados es agruparlos según la forma de las energías de entrada y salida. Básicamente y según este criterio pueden establecerse cuatro grandes grupos:

- Convertidores CA/CD o rectificadores.
- Convertidores CD/CD.
- Convertidores CD/CA.
- Convertidores CA/CA.

Los **convertidores CA/CD** o rectificadores transforman corriente alterna, monofásica o trifásica, en continua. Desde el punto de vista de los accionamientos, presentan una importancia fundamental, ya que se utilizan de forma general en las máquinas siguientes:

*CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS REGULADORES
ESTÁTICOS DE TENSION*

- Máquinas de corriente continua. Alimentación tanto del circuito de excitación como del inducido.
- Máquinas asincrónicas. El control, tanto escalar como vectorial de velocidad en la máquina asincrónica se realiza mediante algún tipo de convertidor CD/CA que necesita como fuente de alimentación una tensión continua. Otra aplicación de este tipo de convertidores es el frenado de los motores asincrónicos[5].
- Máquinas sincrónicas. La utilización de los convertidores CA/CD en la máquina sincrónica se dirigen a dos grandes grupos de aplicación. En el caso de los generadores sincrónicos, es necesario contar con una corriente continua para la excitación de la máquina. Desde el punto de vista de su utilización como motor, es necesario contar con un convertidor CA/CD para el control de la excitación, y en aquellos casos en que se realice un control de velocidad de la máquina, será necesario contar con una etapa rectificadora como paso previo para atacar el convertidor CD/CA que alimentará la máquina a tensión y frecuencia variables. Destacar asimismo el campo de los generadores sincrónicos de pequeña y media potencia que funcionan en un régimen de velocidad muy variable, como pueden ser los generadores eólicos. En este tipo de aplicaciones es común utilizar un convertidor CA/CD para transformar la energía generada en continua como paso previo a la transformador CD/CA de la misma para su acoplamiento a un sistema eléctrico de frecuencia y tensión fijas[5].
- Motores especiales. Algunas máquinas como los motores paso a paso necesitan una fuente de corriente continua que debe conmutarse adecuadamente para conseguir su control. Lo mismo sucede con algunas máquinas de tipo brushless (sin escobillas) que requieren una fuente de corriente continua como paso previo para alimentar un convertidor CD/CA.

Los **convertidores CD/CD** transforman un determinado valor de corriente continua de entrada en uno distinto de salida, con la posibilidad de incluir, además, aislamiento galvánico entre entrada y salida. Desde el punto de vista de los accionamientos su campo de aplicación es el mismo que el de los convertidores CA/CD, con la diferencia de que la fuente de energía no es alterna, sino continua. Su utilización se restringe a sistemas

embarcados, donde la distribución de energía se realiza en corriente continua, o en algunas situaciones especiales, su utilización combinada con los rectificadores no controlados permite diseñar convertidores CA/CD con un mejor factor de potencia[5, 6].

Los **convertidores CD/CA** reciben también el nombre de inversores. Básicamente, realizan una conversión de corriente continua en corriente alterna, con la posibilidad de poder controlar tanto la frecuencia como el valor eficaz de la tensión o intensidad de salida, lo que les hace fundamentales para el diseño de accionamientos basados en máquinas asincrónicas y sincrónicas[5]. Dado que normalmente la distribución de energía se realiza en corriente alterna, suelen ir asociados a un rectificador. Se utilizan también para acoplar al sistema eléctrico la energía generada por los generadores eólicos, que se caracterizan por un motor primario de velocidad muy variable[7].

Los **convertidores CA/CA** se utilizan ampliamente en el diseño de arrancadores suaves para reducir la intensidad demandada durante el arranque de los motores de inducción. En su estructura de control más básica, su función es modificar el valor eficaz de la tensión de entrada, conservando su frecuencia, aunque también puede conseguir una tensión de salida con una frecuencia submúltiplo de la de entrada. En este último caso reciben el nombre específico de cicloconvertidores, habiendo obtenido durante la última década un especial protagonismo en el diseño de sistemas de tracción eléctrica[5].

Convertidores CD/CD o reguladores estáticos de CD.

En muchas aplicaciones industriales es necesario convertir un circuito de corriente directa CD de magnitud de voltaje constante en una fuente de C.D. de voltaje variable reductor o elevador. Los mismos son ampliamente utilizados en el control de motores de C.D. en labores de tracción (automóviles, tranvías, grúas, montacargas etc.)

Según[8], cuando los dispositivos rectificadores están unidos a una fuente alterna, los semiconductores tienen un proceso de conmutación a corte de forma natural, pero, cuando la alimentación es una fuente de voltaje continuo, el principio de conmutar de forma periódica las conexiones entre la fuente D.C. y la carga proporciona un mecanismo

para controlar la potencia en la carga. Estos circuitos se les denominan troceadores ("choppers") o reguladores estáticos de continua.

Los reguladores estáticos de continua, como se dijo anteriormente, son sistemas que transforman la corriente continua de tensión constante en corriente continua de tensión variable y de la misma frecuencia.

1.3 Clasificación de los convertidores CD/CD

Estos se pueden clasificar en aislados y no aislados, donde ambos utilizan las mismas configuraciones básicas, pero a los no aislados se les incorporan transformadores o inductancias de dos arrollamientos para asegurar el aislamiento galvánico con la red de alimentación y la tensión en la carga [9].

Otra clasificación de los convertidores CD/CD puede darse en función de la dirección en la que circulan la corriente y la tensión:

Troceador de clase A

Troceador de clase B

Troceador de clase C

Troceador de clase D

Troceador de clase E

A continuación, se analizarán primeramente los convertidores aislados y no aislados. Un esquema general de los convertidores conmutados se detalla en la Figura 1.2.

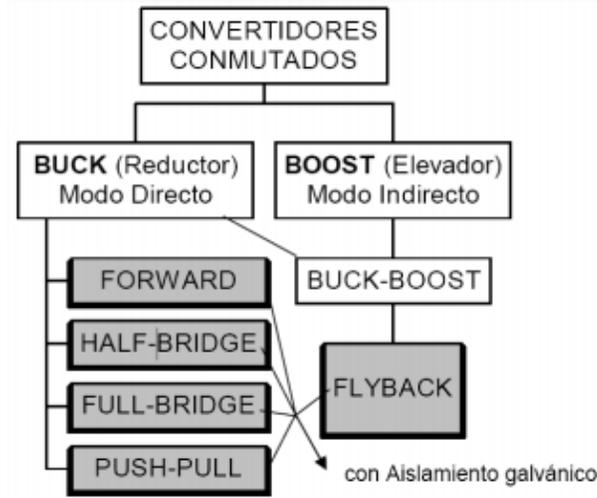


Figura 1.2 esquema de los convertidores conmutados

1.3.1 Tipologías sin aislamiento galvánico

Las tipologías básicas en convertidores no aislados son:

- a) Reductor o Buck
- b) Elevador o Boost
- c) Reductor-Elevador o Buck-Boost.

Convertidor reductor o Buck

Es un tipo de convertidor que se utiliza cuando se necesita una reducción de la tensión de salida con relación a la tensión de entrada. La polaridad de la tensión de salida es la misma que la de la tensión de entrada. Según[9-11], el ruido generado en la salida es bajo debido a la configuración del circuito LC, que forma un filtro pasa bajos. En este caso la tensión de entrada al recibir pulsos del transistor (cuando este conduce), hace con que el convertidor Buck genere en la alimentación de entrada un ruido elevado.

Es el más elemental y también el que permite obtener un mejor rendimiento.

Su tipología aparece en la Figura 1.3.

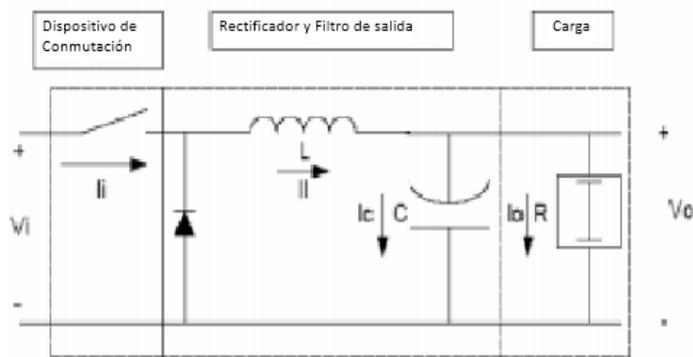


Figura 1.3 Tipología Buck

Cuando el transistor conduce, y el diodo está inversamente polarizado, la corriente de entrada fluye a través del inductor L , de la resistencia de carga, y del condensador C . Cuando se corta el transistor, el inductor transfiere corriente a la salida (resistencia y condensador), a través del diodo de libre circulación D .

Convertidor elevador o Boost

Varios autores,[9-11] plantean que esta tipología es utilizada cuando se desea un aumento de la tensión de salida con relación a la tensión de entrada. La polaridad de la tensión de salida es la misma que la de entrada. El ruido generado en la salida es alto debido a los pulsos de corriente suministrados al condensador de salida C . El ruido generado a la entrada es bajo porque la inductancia L , directamente conectada a la tensión de entrada, mantiene la variación de corriente de entrada sin pulsos. La tensión de salida es muy sensible a cambios en la relación de conducción D (duty ratio) y puede resultar difícil estabilizar el regulador.

El esquema de esta tipología se muestra en la Figura 1.4.



Figura 1.4 Tipología Boost

Cuando el transistor conduce, la inductancia está directamente conectada a la tensión de entrada y suponiendo la salida con mayor tensión, el diodo estará inversamente polarizado y la tensión en el condensador suministrará una corriente a la carga (resistencia). Cuando se corta el transistor, el diodo conduce y el inductor suministra corriente a la salida (resistencia y condensador). Esa corriente debe ser tal que reponga las cargas perdidas por el condensador en el instante anterior y suministre la corriente a la resistencia.

Convertidor Reductor-Elevador o Buck-Boost

Según [9-11], esta tipología suministra un voltaje de salida que puede ser mayor o menor al de la entrada, asimismo la polaridad de la tensión de salida es inversa que la de entrada. El ruido generado en la salida es alto debido a los pulsos de corriente suministrados al condensador de salida C, al igual que el generado a la entrada debido a los pulsos generados por la conmutación del interruptor de potencia. No obstante, tiene alta eficiencia. En caso de falla del dispositivo de conmutación, la corriente queda limitada por el inductor L. Esta tipología se muestra en la Figura 1.5. Si se le añade aislamiento, deriva en el convertidor Flyback que se analizará posteriormente .

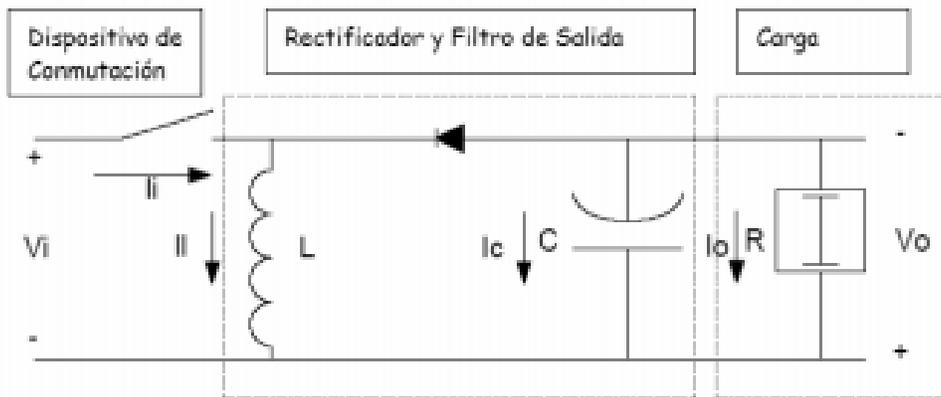


Figura 1.5 Tipología Buck/Boost

Cuando el transistor conduce y el diodo está inversamente polarizado, la corriente de entrada fluye a través del inductor L , almacenando energía. Cuando se corta el transistor, el inductor transfiere corriente a la salida (resistencia y condensador) hasta que la energía almacenada en él se agote.

1.3.2 Tipologías con aislamiento galvánico

El aislamiento galvánico se añade para aislar la red de alimentación y la tensión en la carga, por lo que algunas tipologías se basan en las anteriores (el aislamiento eléctrico es una modificación adicional).

Las tipologías con aislamiento galvánico son:

- a) Flyback
- b) Forward
- c) Push-pull

Convertidor Flyback

Dada su sencillez y bajo costo, es la tipología preferida en la mayoría de los convertidores de baja potencia (hasta cerca de 150 w).

En la Figura 1.6 se muestra el esquema de esta tipología de fuente conmutada.

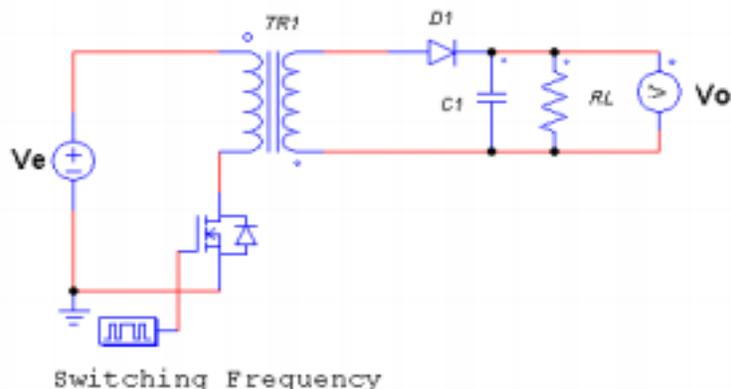


Figura 1.6 Tipología Flyback

Cuando el MOSFET conduce, la corriente crece linealmente en el primario del transformador de alta inductancia para almacenar energía a medida que el flujo magnético aumenta.

Los terminales correspondientes del devanado secundario aseguran que el diodo D1 está polarizado en sentido inverso durante este período, por lo que no circula corriente en el secundario. Cuando el MOSFET se apaga, el flujo en el transformador cesa, generando una corriente inversa en el secundario que carga el condensador a través del diodo alimentando la carga. Es decir, en el campo magnético del transformador se almacena la energía durante el encendido del MOSFET y se transfiere a la carga durante el apagado del mismo. El condensador mantiene la tensión en la carga durante el tiempo que el MOSFET está encendido.

La regulación de tensión en la salida se obtiene mediante comparación con una referencia fija, actuando sobre el tiempo de encendido del MOSFET, por tanto la energía transferida a la salida mantiene la tensión constante independientemente del valor de la carga o del valor de la tensión de entrada[9].

La variación del tiempo de encendido se controla por modulación de ancho de pulso (PWM) a frecuencia fija, o en algunos sistemas más sencillos por autooscilación variando la frecuencia en función de la carga[9].

A continuación, la Figura 1.7 muestra la simplicidad con que pueden añadirse salidas aisladas a un convertidor Flyback. Los requisitos para cada salida adicional son un secundario auxiliar, un diodo rápido y un condensador. Para la regulación de las salidas auxiliares suele utilizarse un estabilizador lineal de tres terminales a costa de una pérdida en el rendimiento.

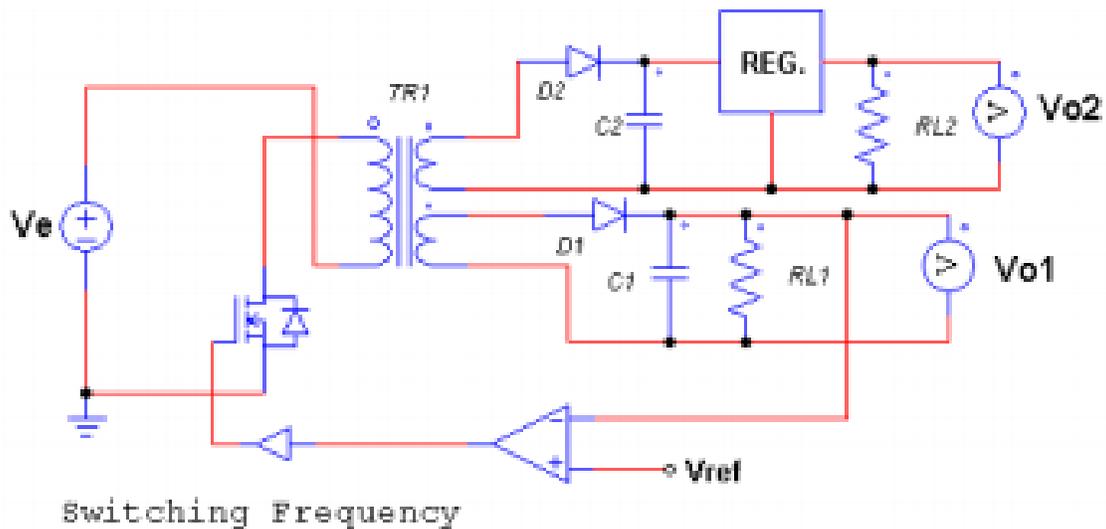


Figura 1.7 Tipología Flyback con múltiples salidas

Características principales:

- Disparo sencillo del transistor de potencia.
- Diseño simple.
- Elevado rizado a la salida.
- Utilización no optimizada del transformador.
- Protección ante el cortocircuito de salida inherente.
- Debe cumplirse que: $V_{ds} > V_e + \left(\frac{N_p}{N_s}\right) * V_{out}$, siendo

V_{ds} = Tensión de ruptura del Interruptor

V_e = Tensión de entrada

N_p = Número de espiras del devanado primario

N_s = Número de espiras del devanado secundario.

- Se utiliza para tensiones elevadas de salida y poca potencia.
- Costo reducido.

Convertidor Forward

Es ligeramente más complejo que el sistema Flyback aunque razonablemente sencillo y rentable en cuanto a costos para potencias de 150 a 250W. En la Figura 1.8 se muestra el esquema de esta tipología de fuente conmutada.

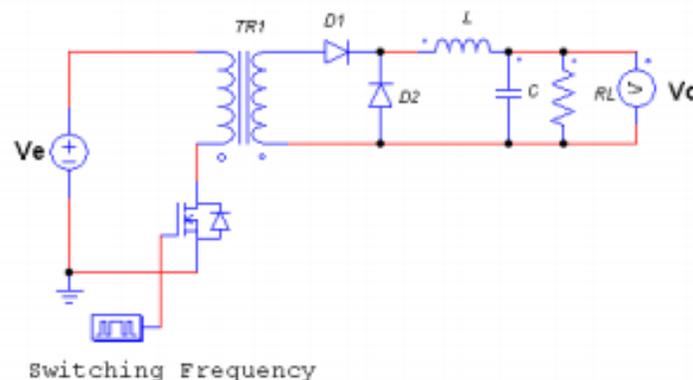


Figura 1.8 Tipología Forward

Durante el tiempo de encendido del MOSFET, la corriente crece en el primario del transformador transfiriendo energía al secundario. Según el sentido de los devanados, el diodo D1 está polarizado directamente, la corriente pasa a través de la inductancia L a la carga, acumulándose energía magnética en L. Cuando el MOSFET se apaga, la corriente en el primario cesa invirtiendo la tensión en el secundario. En este momento D1 queda polarizado inversamente bloqueando la corriente de secundario, pero D2 conduce permitiendo que la energía almacenada en L se descargue alimentando a la carga.

Contrariamente al método Flyback, la inductancia cede energía a la carga durante los períodos de encendido y apagado, esto hace que los diodos soporten la mitad de la corriente y los niveles de rizado de salida sean más bajos[9].

Por cada salida adicional es necesario un secundario auxiliar, dos diodos rápidos, una inductancia y un condensador de filtro, como se muestra en la Figura 1.9. Esto hace que sea más costoso que el Flyback. Para mejorar la regulación en las salidas auxiliares se utilizan igualmente estabilizadores lineales.

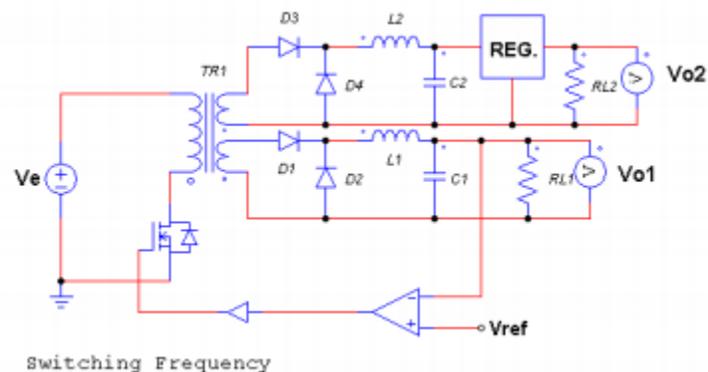


Figura 1.9 Tipologías Forward con salidas múltiples

Características principales:

- Disparo sencillo del transistor de potencia.
- Diseño simple.
- Bajo rizado a la salida.
- Utilización no optimizada del transformador.
- Mala respuesta dinámica.
- Debe cumplirse que: $V_{ds} > 2V_e$, siendo

V_{ds} = Tensión de ruptura del interruptor;

V_e = Tensión de entrada.

- Se utiliza para corrientes elevadas de salida y poca potencia.

- El transformador necesita de un devanado desmagnetizador

Convertidor Push-pull

Este convertidor se desarrolló con el fin de aprovechar mejor los núcleos magnéticos. En la Figura 1.10 se muestra el esquema de esta tipología de fuente conmutada.

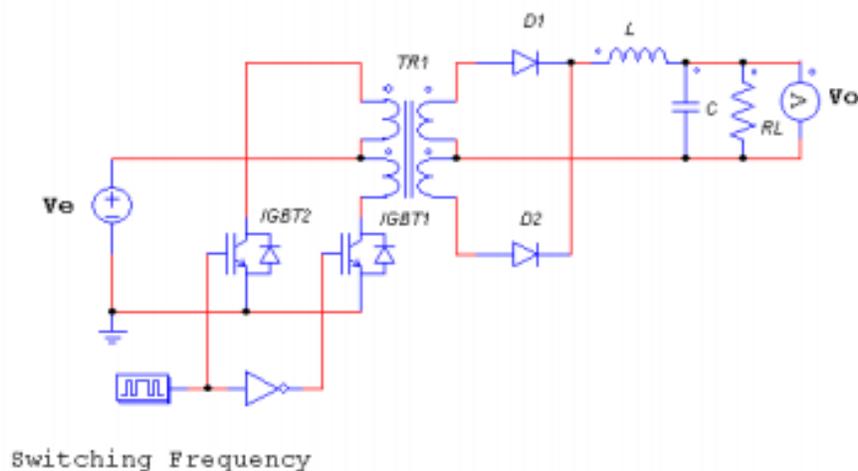


Figura 1.10 Tipología Push-pull

En esencia consisten en dos convertidores Forward controlados por dos entradas en contrafase.

Los diodos D1 y D2 en el secundario, actúan como dos diodos de recuperación. Idealmente los períodos de conducción de los transistores deben ser iguales, el transformador se excita simétricamente y al contrario de la tipología Forward no es preciso prever entrehierro en el circuito magnético, ya que no existe asimetría en el flujo magnético y por tanto componente continua. Ello se traduce en una reducción del volumen del núcleo del orden del 50% para una misma potencia.

Debe preverse que las características de conmutación de los transistores deben ser muy similares, y los devanados tanto el primario como el secundario deben ser perfectamente simétricos, incluso en su disposición física en el núcleo. También se ha de tener en

cuenta, que los transistores deben soportar durante el tiempo de apagado una tensión doble de la tensión de entrada[9].

Características principales:

- Disparo sencillo de los transistores de potencia.
- Diseño simple.
- Debe cumplirse que $V_{ds} > 2V_e$, siendo

V_{ds} = Tensión de ruptura del interruptor;

V_e = Tensión de entrada.

- Posible desbalance del flujo → Riesgo de asimetría.
- Buena utilización del transformador.
- Buen filtrado a la salida.
- Suele emplearse en potencias elevadas.

Existen otras tipologías con aislamiento galvánico para aplicaciones de mayor potencia, como son: a) Medio puente; y b) Puente Completo.

Convertidor Medio Puente

Es la tipología más utilizada para tensiones de entrada altas (de 200 a 400V) y para potencias de hasta 1000W. En la Figura 1.11 se muestra el esquema de esta tipología de fuente conmutada.

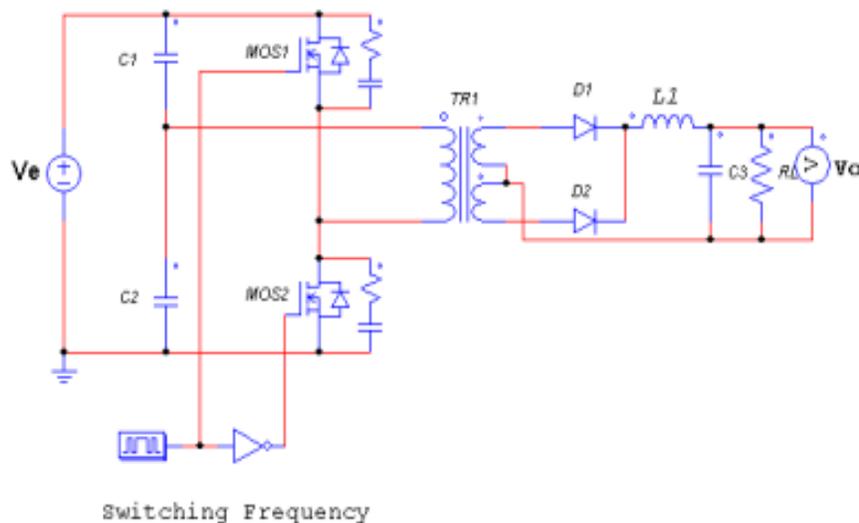


Figura 1.11 Tipología Medio Puente

Se aprecia que el primario del transformador está conectado entre la unión central de los condensadores de desacople de entrada y la unión de la fuente del transistor T1 y el drenador del transistor T2. Si se disparan alternativamente los transistores T1 y T2 se conecta el extremo del primario a +310V y a 0V según corresponda, generando una onda cuadrada de 155V de valor máximo, a partir de la cual, con una adecuada relación de espiras, rectificadas y filtradas se obtiene la tensión de salida deseada.

Una ventaja de este sistema es que los transistores soportan como máximo la tensión de entrada durante el tiempo de apagado[9], mientras que en los sistemas Flyback, Push-Pull y Forward, esta tensión es cuando menos el doble. Esto permite, cuando la tensión de entrada es la red rectificadas, la utilización de transistores de 400 a 500V, mientras que en las otras configuraciones se requerirían transistores de 800 a 1000V. La regulación se logra comparando una muestra de la salida con una tensión de referencia para controlar el ancho del estado de conducción de los transistores.

Características principales:

- Núcleos más pequeños.
- Baja dispersión de flujo magnético.
- La frecuencia en los filtros de salida es el doble de la frecuencia de conmutación.

- Filtro de reducidas dimensiones.
- Bajo ruido y rizado de salida.
- Fácil configuración como salidas múltiples.
- Ruido radiado relativamente bajo.
- Corriente elevada en los transistores

Convertidor Puente Completo

Este tipo de convertidor es idóneo para potencias superiores a 1000W, donde las corrientes en los transistores de conmutación son excesivas. En la Figura 1.12 se muestra el esquema de esta tipología de fuente conmutada.

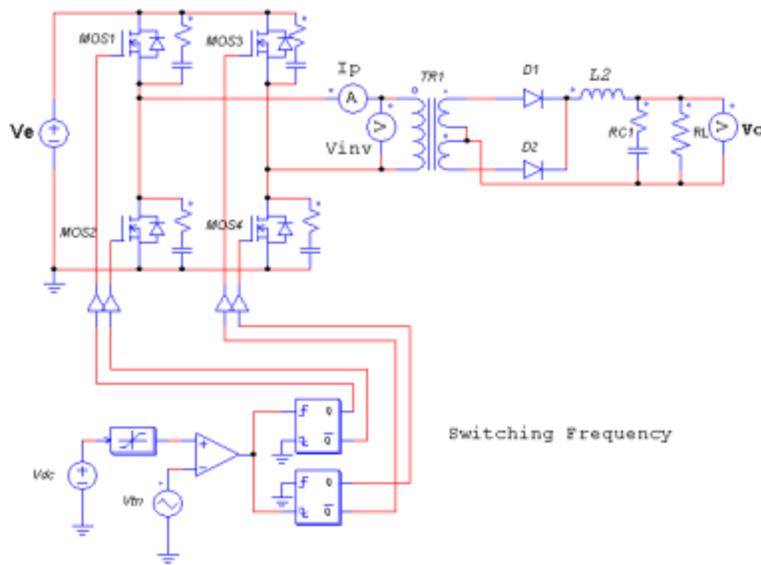


Figura 1.12 Tipología Puente Completo

En esta tipología, los transistores en ramas opuestas del puente T1 y T4 son disparados en fase y T2 y T4 en contrafase. La amplitud de la onda cuadrada en el primario del transformador es por tanto de 310V, el doble que en la tipología semipuente y por tanto la mitad de corriente para una misma potencia. Si la conmutación en ambas ramas está algo desbalanceada hace que aparezca una componente continua en el transformador produciendo la saturación del núcleo magnético[9].

El empleo de cuatro transistores que deben ser excitados por separado, hace que el circuito de disparo sea más complejo.

Características principales:

- Altas potencias de salida.
- Núcleos más pequeños.
- Baja dispersión de flujo magnético.
- Filtro de reducidas dimensiones.
- Bajo ruido y rizado de salida.
- Disparo complejo de los transistores de potencia.
- Posible desbalance del flujo → Riesgo de asimetría.

1.3.3 Troceadores

Como se mencionó con anterioridad, en función del sentido de circulación de la corriente y la tensión, los convertidores CD/CD reciben el nombre de “troceadores”. Existen cinco clases diferentes de troceadores:

Troceador de clase A

Troceador de clase B

Troceador de clase C

Troceador de clase D

Troceador de clase E

Los dos primeros convertidores, clase A y clase B, se caracterizan porque el sentido que presentan tanto la tensión como la intensidad en la carga es invariable (operación en un solo cuadrante). Mientras, los convertidores clase C y D, como se puede observar en la siguiente Figura 1.13, tienen su área de trabajo configurada por dos cuadrantes, con lo que un parámetro de los mismos, bien puede ser la intensidad como la tensión en la carga, puede adoptar diferente sentido. Por último, en el convertidor clase E la tensión y

la intensidad pueden presentar cualquier combinación posible, pudiendo trabajar este convertidor en cualquiera de los 4 cuadrantes[8].

Convertidor clase A

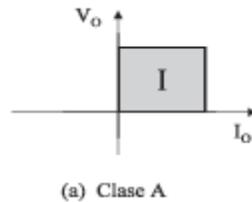


Figura 1.13 Convertidor clase A

La corriente circulante por la carga es positiva, o lo que es lo mismo, fluye hacia la carga. Lo mismo ocurre con la tensión en la misma. Es un convertidor que trabaja en un solo y único cuadrante, con lo que ni la tensión ni la intensidad pueden modificar su sentido[8].

Un convertidor que verifica este modo de operación es el que se recoge en la Figura 1.14, donde V puede representar la fuerza contraelectromotriz de un motor de CD.

Cuando el interruptor se cierra, la fuente de tensión V_i se conecta a la carga, el diodo D queda polarizado en inverso. La intensidad crece exponencialmente mientras circula a través de R , L y V . Por otro lado, cuando el interruptor se abre, la carga queda totalmente aislada de la fuente primaria de energía, la intensidad tiende a decrecer y en la bobina se induce una f.e.m. negativa que provoca que el diodo D entre en conducción, actuando como un diodo volante o de libre circulación[8].

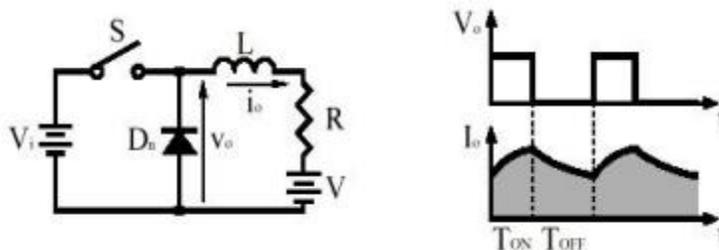


Figura 1.14 Convertidor tipo A

Convertidor clase B

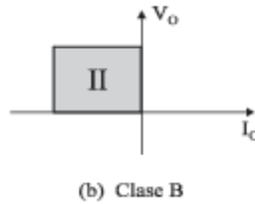


Figura 1.15 Convertidor clase B

Opera exclusivamente en el segundo cuadrante. Por tanto, la tensión en la carga sigue positiva, mientras que la intensidad que circula por la carga es negativa. En otras palabras, se puede decir que la intensidad escapa de la carga y fluye hacia la fuente primaria de tensión. Es por ello que este convertidor recibe también el apelativo de convertidor regenerativo[8].

Un convertidor de este tipo es el que se observa en la Figura 1.16. Cuando el interruptor S se cierra, la tensión V_0 se hace cero, quedando el diodo polarizado en inverso. Al mismo tiempo, la batería V , provocará la circulación de corriente a través de R-L-S, almacenándose energía en la bobina. Cuando se produzca la apertura del interruptor, la aparición de una fuerza electromotriz en la bobina se sumará a V . Si $V_0 > V_i$, el diodo quedará polarizado en directo, permitiendo la circulación de corriente hacia la fuente[8].

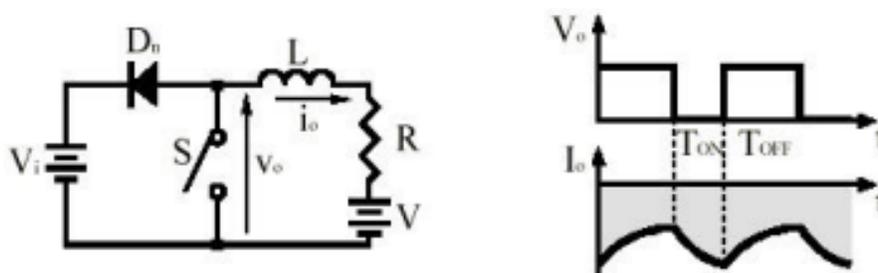


Figura 1.16 Convertidor tipo B

Convertidor clase C

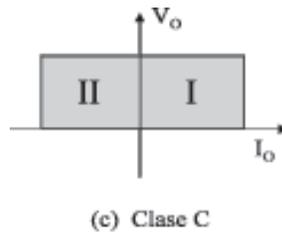


Figura 1.17 Convertidor clase C

Puede operar tanto en el primer como el segundo cuadrante. Por tanto, la tensión en la carga sólo puede ser positiva, mientras que la intensidad podrá adoptar tanto valores positivos como negativos.

Es por ello que también se le pueda denominar chopper de dos cuadrantes.

Este convertidor se obtiene a partir de la combinación de un chopper clase A con otro clase B tal como se puede observar en la Figura 1.17, donde S1 y D1 constituyen un convertidor clase A. Por otro lado S2 y D2 configuran un convertidor clase B. Si se acciona S1 funcionará en el primer cuadrante (intensidad positiva). Por el contrario, si manteniendo S1 abierto se abre y se cierra S2 funcionará como un convertidor regenerativo. Se debe asegurar que no se produzca el disparo simultáneo de los dos interruptores, ya que de lo contrario la fuente primaria de alimentación se cortocircuitaría[8].

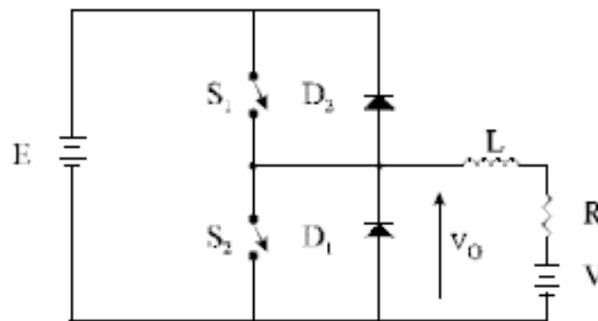


Figura 1.18 Esquema circuital

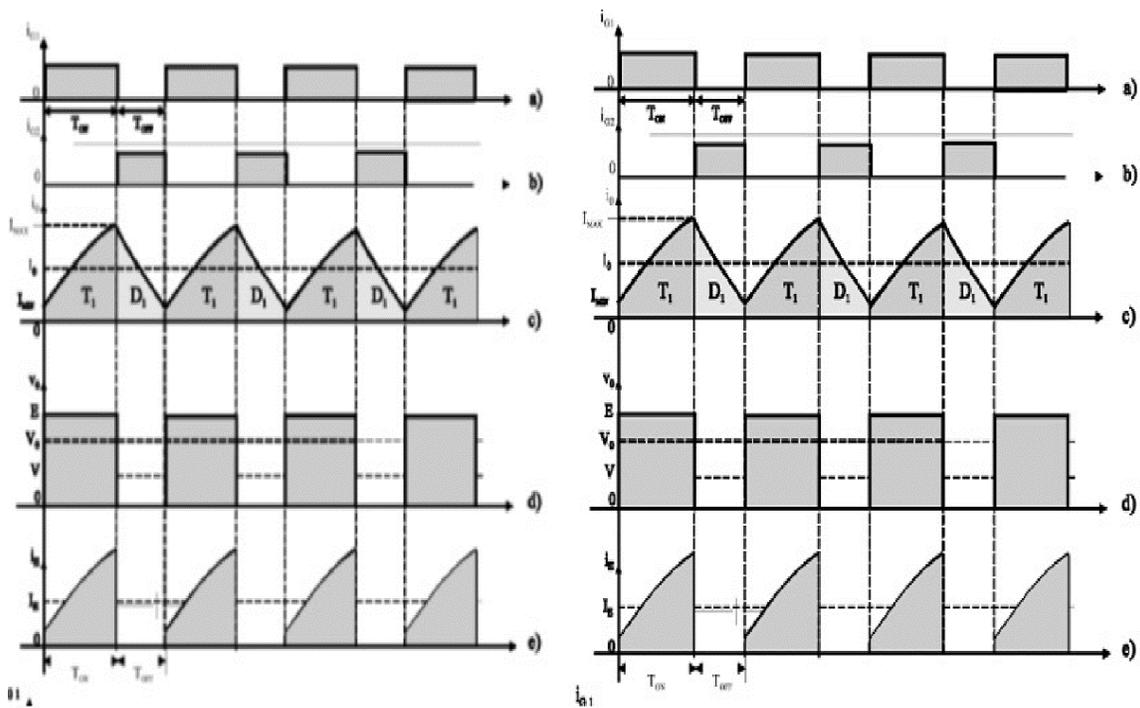


Figura 1.19 Gráfica del convertidor clase C en sus dos cuadrantes

Convertidor clase D

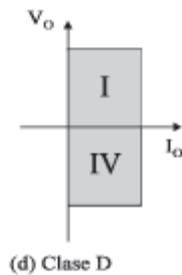


Figura 1.20 Convertidor clase D

Este convertidor también opera en dos cuadrantes, como se observa en la Figura 1.20, en el primer y cuarto cuadrante. La intensidad en la carga permanece siempre positiva, mientras que la tensión en la carga es positiva cuando pasan a conducción los interruptores S1 y S2. Por el contrario, cuando se bloquean estos dos, la fuerza electromotriz inducida en L hace que el voltaje total en la carga sea negativo, polarizándose los diodos y provocando que la corriente circule hacia la fuente E[8, 12].

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS REGULADORES
ESTÁTICOS DE TENSIÓN

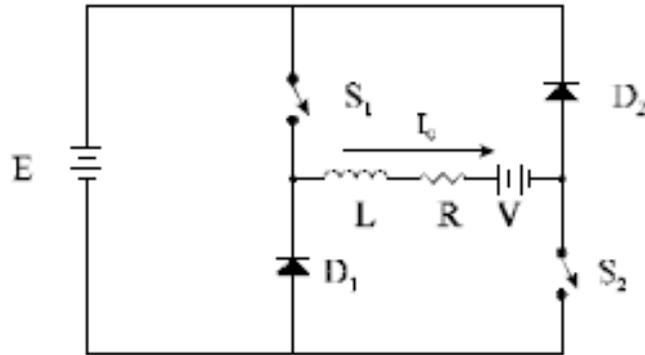


Figura 1.21 Esquema circuital

A continuación se muestra su comportamiento de manera gráfica mediante la Figura 1.22 de su operación en el primer y cuarto cuadrante.

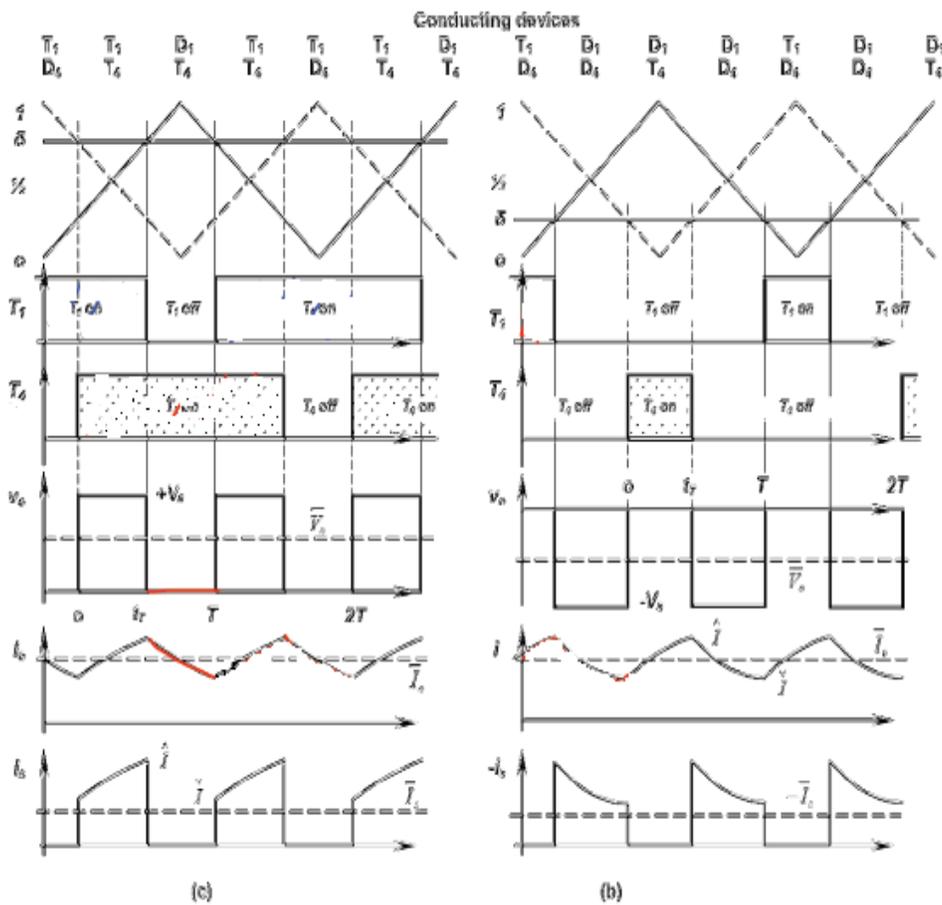


Figura 1.22 Gráfica del convertidor en sus dos cuadrantes

Convertidor clase E

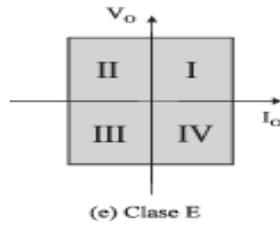


Figura 1.23 Convertidor clase E

Si se requiere de la operación en los cuatro cuadrantes con el mismo convertidor, o lo que es lo mismo, disponer de cualquier combinación posible de tensión-intensidad en la carga se deberá recurrir al convertidor clase E, indicado en la Figura 1.24.

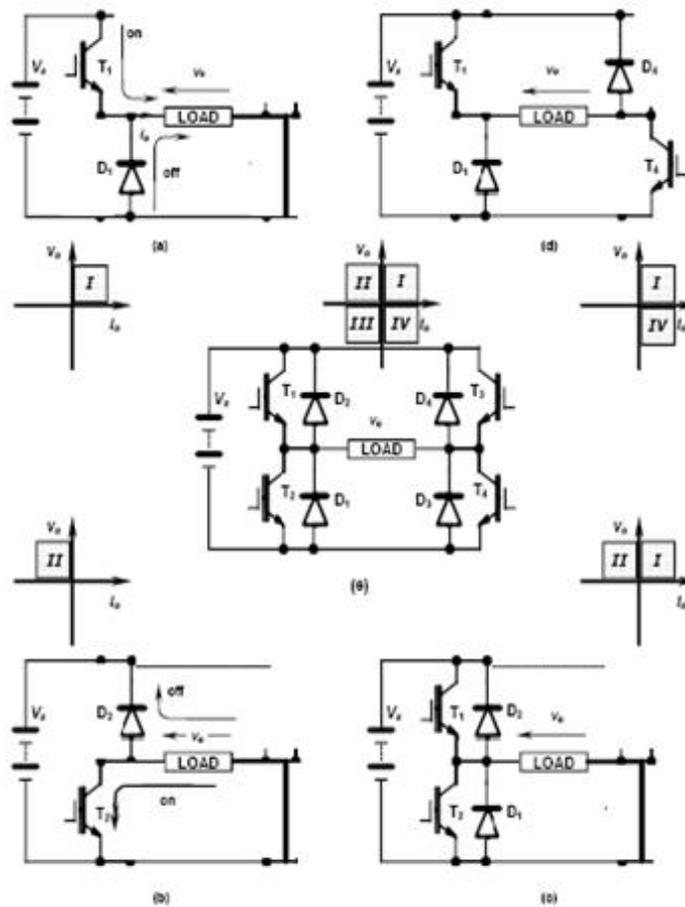


Figura 1.24 Esquema circuital del convertidor clase E operando en los cuatro cuadrantes

En caso de necesitarse otros tipos de funcionamientos para este convertidor se presentan varios métodos de operación, en los que el convertidor no trabaja en los cuatro cuadrantes al mismo tiempo, sino que funciona como combinaciones de las otras clases anteriormente explicadas.

Método 1

Manteniendo una diagonal permanentemente abierta (por ejemplo T1 y T4), y proporcionando un ciclo de trabajo a los dos interruptores (abriéndolos y cerrándolos a la vez). De esta manera tendríamos dos posibles convertidores tipo D, cada uno de los cuales se encargarían de un sentido de giro[12].

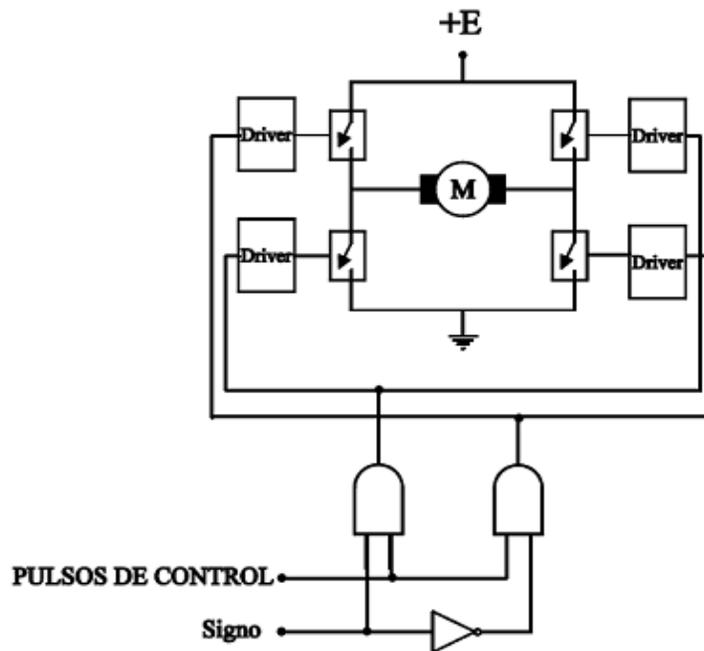


Figura 1.25 Convertidor en el Método 1

Método 2

Manteniendo una diagonal permanentemente abierta, como en el caso anterior, pero dando un ciclo de trabajo solo a uno de los interruptores (el restante se dejaría cerrado permanentemente). La diagonal activa define el sentido de giro del motor[12].

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS REGULADORES
ESTÁTICOS DE TENSIÓN

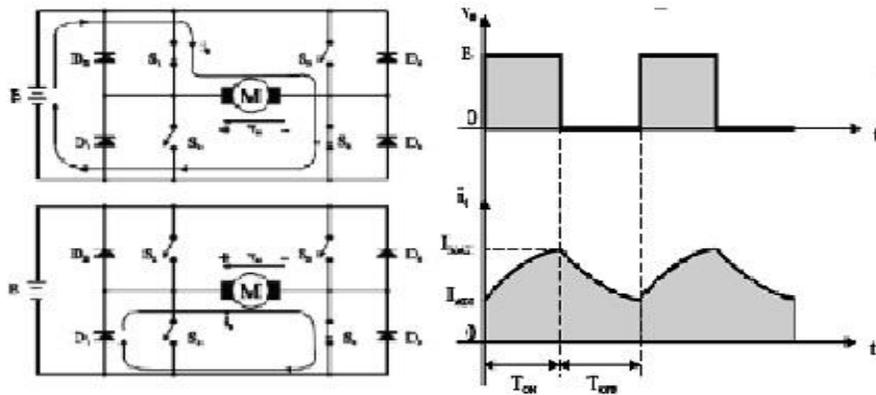


Figura 1.26 Esquema circuital y gráfico del convertidor en el Método 2

Método 3

Se cierran alternativamente las diagonales.

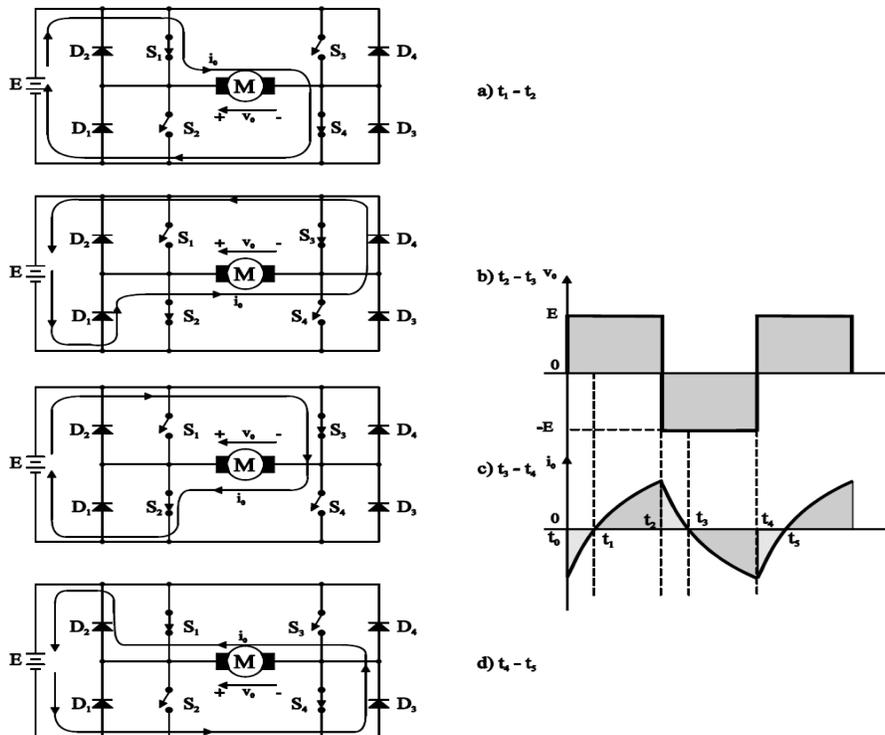


Figura 1.27 Esquema circuital y gráfico del convertidor operando en Método 3

1.4 Convertidores CA/CA o reguladores estáticos de alterna

Los reguladores estáticos de alterna son sistemas que transforman la corriente alterna de tensión constante en corriente alterna de tensión variable y de la misma frecuencia[13].

En la práctica, según [5] esta transformación está sujeta a una reducción del valor eficaz de la tensión de entrada, y en algunos casos, a una reducción de la frecuencia de entrada que puede tomar únicamente algunos valores. Desde el punto de vista práctico, este tipo de convertidores se utilizan habitualmente en la construcción de arrancadores suaves para motores asíncronos, reguladores de luz, reguladores de temperatura de calderas y calentadores y otras aplicaciones industriales. A pesar de que no se utilizan demasiado en el mundo de las telecomunicaciones, resulta interesante revisar su estructura y características de funcionamiento.

En la Figura 1.28 se muestra el circuito eléctrico básico de un convertidor CA/CA monofásico. Como puede observarse en la Figura 1.28, el circuito está formado por dos tiristores conectados en antiparalelo. En aplicaciones de poca potencia, es posible encontrar circuitos donde los tiristores se sustituyen por TRIACS. Sin embargo, en aplicaciones de media y gran potencia, resulta más frecuente utilizar tiristores, ya que éstos son más robustos y fiables[14].

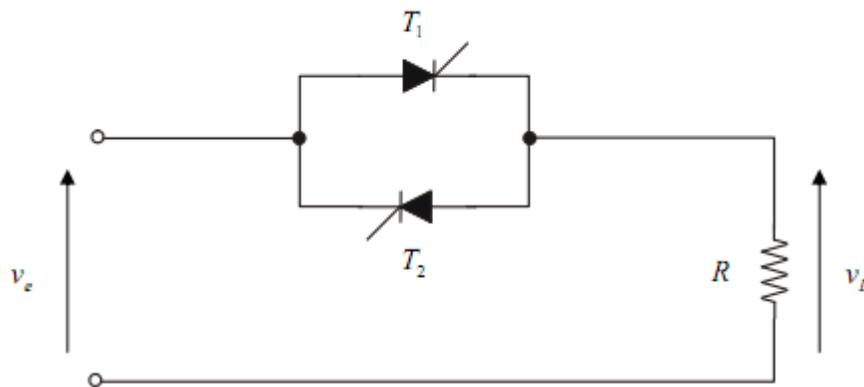


Figura 1.28 Circuito básico de un convertidor CA/CA monofásico

Como resulta lógico, el control de la tensión de salida se realiza mediante los ángulos de encendido de los tiristores T1 y T2[5].

De acuerdo a la técnica de control empleada, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Control de fase: El control se realiza dentro de cada semiciclo, dejando pasar una parte del mismo.

Control integral: El control se realiza dejando pasar un número entero de semiciclos.

En función de los límites de regulación se puede realizar otra clasificación:

- Reguladores totales

Donde se permite la máxima variación desde el valor de la tensión del generador de entrada hasta cero. En cualquier instante, el valor instantáneo de la tensión a la salida es la de la entrada o cero[13]. Su configuración se muestra en la siguiente Figura 1.29.

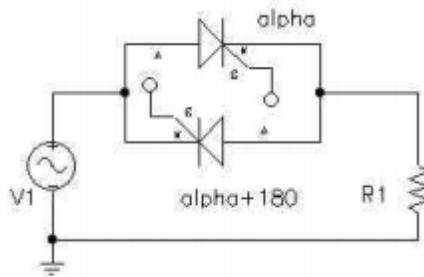


Figura 1.29 Esquema de un regulador total

- Reguladores diferenciales.

La tensión de salida tiene un margen más estrecho de variación, necesitando un autotransformador. El valor instantáneo de la tensión a la salida es bien la tensión máxima $V1+V2$ o la mínima $V2$. Su configuración se muestra en la Figura 1.30.

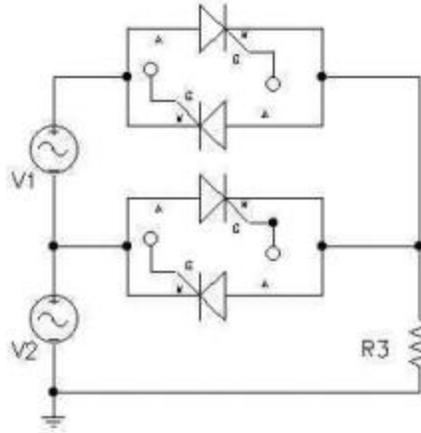


Figura 1.30 Esquema de un regulador diferencial

El funcionamiento de cada uno de estos tipos se explica a continuación sobre la base de que alimentan una carga resistiva, con vista a simplificar su análisis. Bajo esta consideración se tiene que la tensión y corriente estarán en fase[14, 15].

Regulador total con control de fase

Tras el comienzo de cada semiciclo, se mantiene bloqueado al correspondiente tiristor, al que se le envía un impulso con un retardo α/ω . El ángulo α de control, permite la variación de la potencia entregada a la carga. Los tiristores se bloquean de forma natural al anularse su intensidad[13].

De acuerdo a la técnica de Control de fase. El control se realiza dentro de cada semiciclo, dejando pasar una parte del mismo. El control de fase resulta similar al realizado en el caso del rectificador de media onda controlado. La diferencia radica únicamente en la tipología simétrica de este tipo de convertidor[5, 15]. Así, en la Figura 1.31 se muestra la forma de onda de la tensión de salida. A partir del ángulo de encendido es posible controlar el valor eficaz de salida mediante la siguiente ecuación:

$$V_{L,rms}(\alpha) = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2}V_{e,rms} \sin \beta)^2 d\beta} \tag{1.1}$$

$$V_{L,rms}(\alpha) = V_{e,rms} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \quad (1.2)$$

La forma de onda de la tensión a la salida de un convertidor CA/CA se muestra en la Figura 1.31.

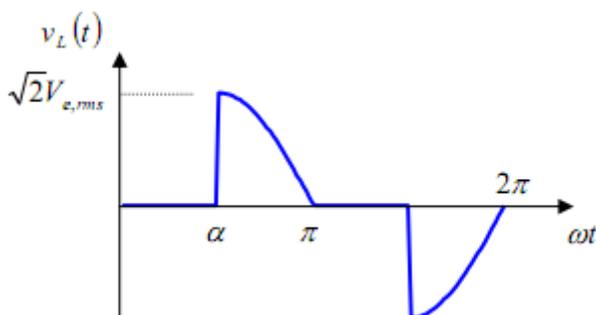


Figura 1.31 Forma de onda de la tensión a la salida de un convertidor CA/CA con control de fase

La principal ventaja de este regulador es su simplicidad, sin embargo dispone de los siguientes inconvenientes:

- Disminución del factor de potencia, pues el ángulo α hace que se retrase la corriente respecto de la tensión de entrada.
- La intensidad de la carga dispone de los armónicos de todos los órdenes.
- Elevados dv/dt y di/dt que producen ruido electromagnético.

Regulador diferencial con control de fase

Su utilización es recomendada cuando los márgenes de regulación son más estrechos, y para lograr menor contenido armónico. También se utilizan como conmutadores estáticos para cambiar las derivaciones de los transformadores de carga. El uso más común de un cambiador de derivación es para cargas resistivas de calefacción[13].

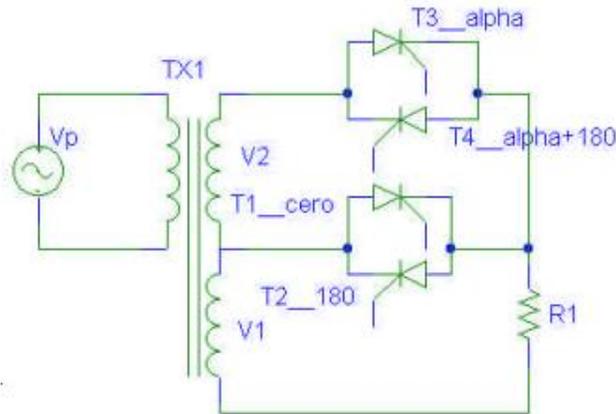


Figura 1.32 Esquema de un regulador diferencial con control de fase

Se puede controlar los pulsos de puerta de los tiristores, para variar el voltaje de la carga dentro de tres rangos posibles:

- $0 < V_o < V_1$ Aquí se desactivan los tiristores T3 y T4. Los tiristores T1 y T2 actúan como un regulador monofásico. El voltaje eficaz en la carga resulta igual a:

$$V_o = V_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \left(\pi - \alpha + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right)} \quad (1.3)$$

- $0 < V_o < (V_1 + V_2)$ Ahora se desactivan T1 y T2 y funcionan T3 y T4 variando el ángulo alfa (α).

- $V_1 < V_o < (V_1 + V_2)$ En este modo, T1 se activa en cero y el voltaje secundario V1 aparece en la carga. Después el tiristor T3 se dispara en alfa y el T1 se queda con polarización negativa debido al voltaje de V2, desactivándose y apareciendo en la carga V1+V2. Un instante después T3 se corta y T2 es disparado, apareciendo V1 en la carga. Posteriormente, se dispara T4, cortándose T2 y apareciendo en la carga V1+V2. Ahora el voltaje eficaz aplicado a la carga será igual a:

$$V_o = \sqrt{\frac{V_1^2}{\pi} \cdot \left(\alpha - \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right) + \frac{(V_1+V_2)^2}{\pi} \cdot \left(\pi - \alpha + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right)} \quad (1.4)$$

Regulador total con control integral

En estos reguladores la potencia entregada a la carga puede modificarse cambiando la relación entre el número entero de semiciclos que deja pasar a la carga y el número que no deja pasar, también conocido como control todo/nada.

Este tipo de control se basa en la activación/desactivación periódica de los tiristores para conseguir que la salida sea activa durante n ciclos y esté desconectada durante otros m. De esta forma, el efecto global que se consigue es una reducción del valor eficaz. En la Figura 1.33 se muestra la formas de onda de salida en este tipo de control[13, 15].

Si el valor eficaz de la tensión de entrada al convertidor es $V_{e,rms}$, el valor eficaz de la tensión VL será:

$$V_{L,rms} = \sqrt{\frac{1}{n+m} [nV_{e,rms}^2 + m \cdot 0]} = V_{e,rms} \sqrt{\frac{n}{n+m}} \tag{1.5}$$

Si se denomina por la letra k al ciclo de trabajo, entonces:

$$k = \frac{n}{n+m} \tag{1.6}$$

y por lo tanto:

$$V_{L,rms} = V_{e,rms} \sqrt{k} \tag{1.7}$$

donde k puede variar entre 0 y 1.

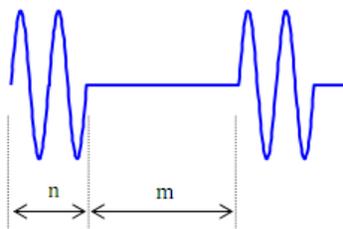


Figura 1.33 Forma de onda de la tensión de salida de un convertidor CA/CA con control integral.

Se observa de esta forma cómo es posible utilizar este convertidor para reducir el valor eficaz de la tensión de entrada. Este método no es aplicable, sin embargo, a cualquier tipo de aplicación. Un equipo electrónico no puede, en general, estar sin alimentación durante m ciclos, ya que es posible que los circuitos digitales sufran un Reset. Normalmente, este tipo de control se utiliza en la gestión de resistencias de calentamiento, dado que la inercia térmica del conjunto es muy superior al ritmo de variación eléctrico[5].

Cabe destacar que, para este tipo de control, las variaciones de di/dt y dv/dt son más suaves, disminuyendo el contenido armónico. Sin embargo existen subarmónicos generados por el propio funcionamiento[13].

Regulador diferencial con control integral:

Este tipo de circuitos es menos habitual, dada su complejidad en el control diferencial, pues hay que detectar los pasos por cero de la corriente y, además, en el entorno de estos pasos los impulsos de disparo de todos los tiristores deben estar inhibidos para dar tiempo a la recuperación del tiristor que ha de bloquearse. A continuación se muestra la forma de onda que se obtiene a la salida[13].

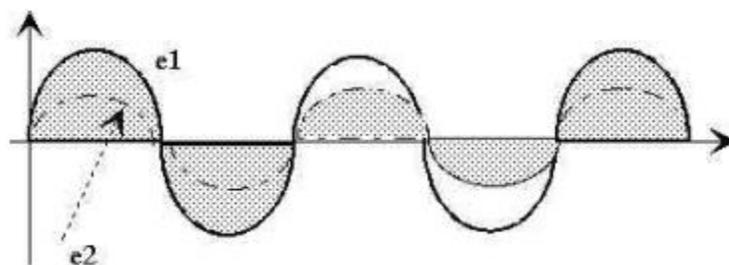


Figura 1.34 Forma de onda a la salida de un regulador diferencial con control integral

1.5 Campos de aplicación

Las aplicaciones de los convertidores CD/CD recaen fundamentalmente sobre dos campos:

- Fuentes de alimentación conmutadas. Son fuentes de alimentación en las que el regulador en vez de ser lineal es conmutado, consiguiéndose un importante aumento del rendimiento y una buena respuesta dinámica.
- Alimentación de motores de corriente continua, cuya regulación requiere tensiones continuas variables. Las potencias utilizadas en este caso son considerables.

Según[16], los reguladores de CA se utilizan en aplicaciones que tienen una alta inercia mecánica y una alta constante de tiempo térmica, tales como:

- Controladores de motores de inducción polifásicos.
- Son utilizados en sistemas de calefacción e iluminación.
- Son utilizados como cicloconvertidores los cuales convierten un voltaje de CA de una frecuencia a un voltaje de CA de otra.

Por otra parte, se debe señalar aunque no constituye objeto de estudio en esta investigación que, cuando se tiene que el límite donde la potencia entregada a la carga sea máxima o nula, los RET de CD o de CA pueden funcionar con interruptores estáticos de CD o interruptores estáticos de CA.

Conclusiones del capítulo

En este capítulo se dio a conocer los fundamentos teóricos de los Reguladores Estáticos de Tensión, sus características y principio de funcionamiento. También se incluyeron sus tipologías y clasificaciones, con sus imágenes. Se describió las clases de troceadores, que no son más que otro tipo de clasificación de convertidores de CD/CD que se dan en el sentido en que circulan el voltaje y la corriente. Se describieron los regímenes de trabajo de los convertidores estáticos de alterna y se mencionaron los campos de aplicación más conocidos de estos y de los CD/CD.

Capítulo 2 Implementación de prácticas de laboratorio

Introducción

El presente capítulo trata la importancia de las prácticas de laboratorio para la asignatura de Electrónica de Potencia, ya que son muy efectivas en la motivación del estudiante hacia la investigación y el desarrollo de sus capacidades científicas. También se muestra una descripción del Software Proteus 8 Professional utilizado en la implementación de los circuitos seleccionados para las prácticas de laboratorio, elegido por su capacidad de implementación y simulación, además de su fácil manejo en estas áreas. Se cuenta además con una descripción de los circuitos seleccionados y un listado de cada uno de sus componentes con su explicación. De la misma forma se comenta sobre su montaje real y los equipos utilizados en dichos montajes.

2.1 Importancia de las prácticas de laboratorio

A partir de la última década se han realizado investigaciones sobre prácticas de laboratorio, que permiten renovar los trabajos prácticos tradicionales, estas han generado un amplio consenso en torno a su orientación del trabajo experimental como una actividad investigativa[17].

Las prácticas de laboratorio juegan un papel primordial en la familiarización de los estudiantes con la metodología científica. Convendría plantearlas a partir de una situación problémica; tener en cuenta las ideas previas de los estudiantes para formular las situaciones problémicas base del trabajo de laboratorio; favorecer en todo caso el razonamiento hipotético deductivo, mediante el control de variables; posibilitar la emisión de hipótesis que requieran ser contrastadas a lo largo del desarrollo de la práctica de laboratorio; posibilitar la consulta bibliográfica, o algún otro mecanismo que ubique el trabajo práctico en un contexto teórico y orientar a los estudiantes para que propongan diseños experimentales. Este aspecto es fundamental para el desarrollo del pensamiento tecnológico, permitir que los estudiantes realicen todo el trabajo de explicación y solución de las situaciones problémicas en grupos pequeños. Además, las prácticas de laboratorio deben favorecer el análisis de resultados por parte de los estudiantes, abolir la estructura recetaría de las prácticas, posibilitar la elaboración de un informe final, en el que se

especifique claramente: el problema planteado, las hipótesis emitidas, las variables que se tuvieron en cuenta, el diseño experimental realizado, los resultados obtenidos y las conclusiones, etc. [17].

El laboratorio es el elemento más distintivo de la educación científica ya que tiene gran relevancia en el proceso de formación, cualquiera que vaya a ser la orientación profesional y el área de especialización del estudiante. En el laboratorio se puede conocer al estudiante en su integridad: sus conocimientos, actitudes y desenvolvimiento[18].

El trabajo práctico de laboratorio promueve:

1. Motivar, mediante la estimulación del interés y la diversión.
2. Enseñar las técnicas de laboratorio.
3. Intensificar el aprendizaje de los conocimientos científicos.
4. Proporcionar una idea sobre el método científico, y desarrollar la habilidad en su utilización.
5. Desarrollar determinadas "actitudes científicas", tales como la consideración de las ideas y sugerencias de otras personas, la objetividad y la buena disposición para no emitir juicios apresurados.

El equipamiento de laboratorio ha evolucionado mucho, se ha pasado el tiempo en el que había que pensar más en el aparato que en el fenómeno físico que se estudiaba. Al profesor le lleva poco tiempo montar las prácticas, los materiales son fiables, y los aparatos de medida son precisos. La correspondencia entre los resultados de las medidas y la predicción de la teoría son aceptables[18].

Dentro de los objetivos de la formación profesional en el campo de la ingeniería debe estar el permitir a los estudiantes desde las primeras etapas, experimentar la ciencia y la tecnología de tal manera que les de la capacidad de una activa construcción de ideas y de explicaciones que conllevara al aumento de las oportunidades para desarrollar, aprovechar y generar nuevas tecnologías[19]. En el caso de la carrera de Ingeniería Eléctrica las prácticas de laboratorios en asignaturas como Electrónica de Potencia son de gran importancia ya que le permiten al estudiante aplicar los contenidos teóricos al

análisis y diseño de circuitos, llevando a un nuevo nivel lo estudiado al poder interactuar de manera física o simulada con el comportamiento de los dispositivos electrónicos ante determinadas circunstancias.

2.2 Software Proteus 8 Professional

Para la implementación de los laboratorios seleccionados se utilizó el software Proteus, ya que es una fuerte herramienta para la simulación de circuitos electrónicos de potencia al contener en sus librerías no solo elementos genéricos sino dispositivos específicos, comerciales y actualizados, que permiten simular el comportamiento del circuito previamente montado. Cuenta con un ambiente amigable que permite modificar y especificar de una manera muy fácil las características y especificaciones de cada componente, haciendo más interactivo el proceso de simulación.

El programa Proteus está conformado por dos aplicaciones llamadas Ares e Isis. Isis está diseñado para realizar esquemas de circuitos con casi todos los componentes electrónicos que se encuentran actualmente disponibles en el mercado de los circuitos integrados y los componentes pasivos y activos utilizados en las aplicaciones electrónicas, el entorno de este módulo aparece en la Figura 2.1. Además, Proteus posee una aplicación de simulación que permite comprobar la efectividad de un circuito determinado ante una alimentación de voltaje, este voltaje en la aplicación es virtual; también permite cargar a los microcontroladores presentes en sus librerías con los programas previamente desarrollados en los programas ensambladores y en los compiladores de Basic según sea el tipo de lenguaje elegido por el programador[20].

Ares es una aplicación que se usa para situar los componentes utilizados en el esquema realizado en Isis sobre una placa de interconexión (board) virtual que luego puede ser impresa en una impresora láser sobre papel propalcote o papel de fax, estos últimos pueden luego ser impresos sobre la capa de cobre para luego obtener las pistas de conducción mediante una reacción que extrae el cobre sobrante de la board de bakelita. Los componentes de este módulo pueden encontrarse en librerías implementadas por el fabricante. Esta aplicación cuenta con una serie de procesos automatizados que generan acciones de auto ruteo y auto posicionamiento cuando el proyecto se carga desde Isis, de lo contrario el posicionamiento y el ruteo debe hacerse manualmente[20].

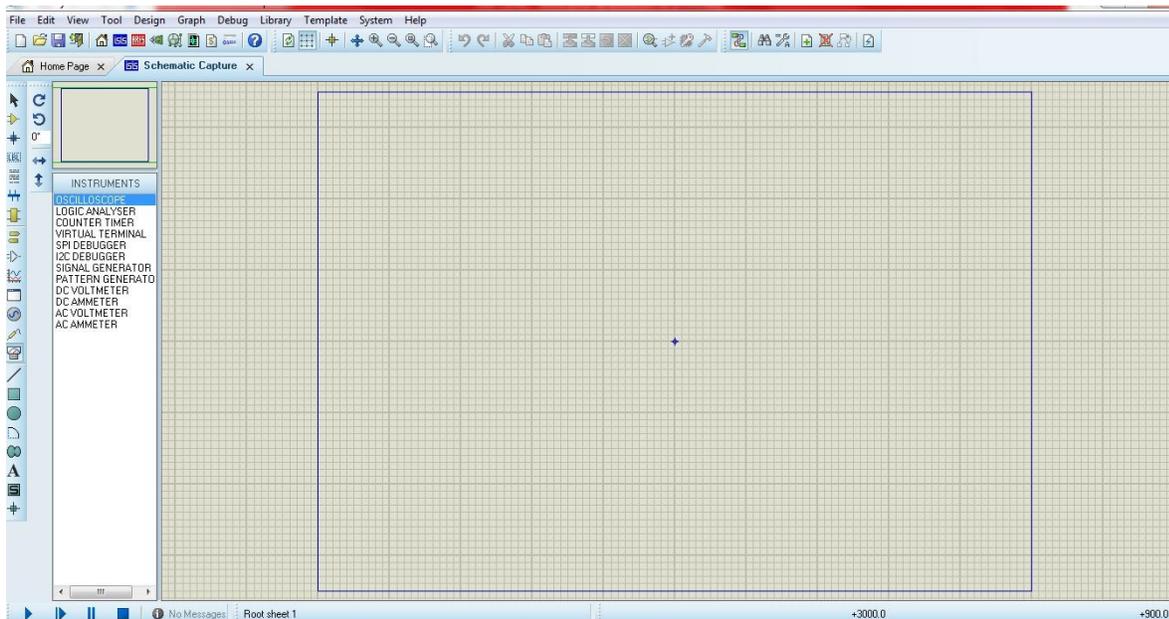


Figura 2.1 Ambiente de la aplicación ISIS del Proteus

2.3 Desarrollo simulado de los laboratorios

Para las prácticas de laboratorio se seleccionaron tres circuitos:

- Convertidor CD de 12V a 9V
- Fuente de voltaje CD de 5V y 9V
- Elevador de voltaje CD de 12V a 24V

Estos circuitos fueron seleccionados por ser aplicaciones utilizadas con gran frecuencia en el campo de la electrónica y el control de motores de corriente continua, los cuales son estudiados y utilizados por los estudiantes de la carrera de Eléctrica.

Estos circuitos serán montados de forma real utilizando los componentes disponibles en los laboratorios para lograr que los estudiantes tengan una mayor interacción con los elementos que se encontrarán en la práctica. Además, se realizará la simulación de los mismos.

2.3.1 Convertidor CD de 12V a 9V

Este convertidor de 12V a 9V en CD es muy útil para utilizar en cualquier fuente que alimente con 12V CD y poder conectar a él dispositivos que utilizan 9 V CD, con un consumo máximo de 0.8 Amperes. Ejemplos: autos, motos, bicicletas eléctricas, etc.

Este reductor de voltaje se implementa utilizando un diodo zener, un transistor bipolar NPN y un resistor en serie. El voltaje de salida es el voltaje del diodo zener más el voltaje base emisor del transistor Q1. ($V_{salida} = V_z + V_{be}$). El transistor permite que la carga tenga un rango de variación mayor que cuando solamente se utiliza el diodo zener.

Notas:

De ser posible utilizar un disipador de calor para el transistor, debido a que puede calentarse y dañar su funcionamiento.

El voltaje de entrada al convertidor no debe superar los 14V.

Lista de componentes para el laboratorio

- Diodo Zener 1N756 de 8.2 V
- Transistor bipolar NPN TIP41C
- Resistores de 6.8 ohms
- Disipador de calor

El **diodo zener**, como se muestra en la Figura 2.2, es un tipo especial de diodo, que siempre se utiliza polarizado inversamente. Cabe recordar que los diodos comunes, como el diodo rectificador (en donde se aprovechan sus características de polarización directa y polarización inversa), conducen siempre en el sentido de la flecha. En este caso la corriente circula en contra de la flecha que representa el diodo[21].



Figura 2.2 Diodo zener

- Si el diodo zener se polariza en sentido directo se comporta como un diodo rectificador común.

- Si el diodo zener funciona polarizado inversamente mantiene entre sus terminales un voltaje constante.

Conforme va aumentando negativamente el voltaje aplicado al diodo, la corriente que pasa por él aumenta muy poco. Pero una vez que se llega a un determinado voltaje, llamada voltaje o tensión de Zener (V_z), el aumento del voltaje (siempre negativamente) es muy pequeño, pudiendo considerarse constante como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3 Característica de voltaje-corriente del zener

Para este voltaje, la corriente que atraviesa el diodo zener, puede variar en un gran rango de valores. A esta región se le llama la zona operativa. Esta es la característica del diodo zener que se aprovecha para que funcione como regulador de voltaje, pues el voltaje se mantiene prácticamente constante para una gran variación de corriente[21].

Un regulador con diodo zener ideal mantiene un voltaje predeterminado fijo a su salida, sin importar las variaciones de voltaje en la fuente de alimentación y/o las variaciones de corriente en la carga.

Nota: En las fuentes de voltaje ideales, el voltaje de salida no varía conforme varía la carga. Pero las fuentes no son ideales y lo normal es que el voltaje de salida disminuya conforme la carga va aumentando, o sea, conforme la demanda de corriente de la carga aumente[21].

El **transistor bipolar**, mostrado en la Figura 2.4, es el más común de los transistores, y como los diodos, puede ser de germanio o silicio. En ambos casos el dispositivo tiene 3 patillas y son: el emisor, la base y el colector.

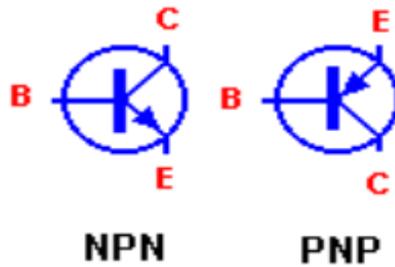


Figura .2.4 Transistor bipolar

Existen dos tipos de transistores: el NPN y el PNP, y la dirección del flujo de la corriente en cada caso, lo indica la flecha que se ve en el gráfico de cada tipo de transistor. El transistor es un dispositivo de 3 patillas con los siguientes nombres: base (B), colector (C) y emisor (E), coincidiendo siempre, el emisor, con la patilla que tiene la flecha en el gráfico de transistor. El transistor bipolar se comporta como un amplificador de corriente, esto quiere decir que si le introducimos una cantidad de corriente por una de sus patillas (base), el entregará por otra (emisor), una cantidad mayor a ésta, en un factor que se llama amplificación[21].

Un **resistor** es un elemento que causa oposición al paso de la corriente, causando que en sus terminales aparezca una diferencia de tensión (un voltaje).

La máxima cantidad de corriente que puede pasar por una resistencia, depende del tamaño de su cuerpo. Las resistencias o resistores son fabricadas principalmente de carbón y se presentan en una amplia variedad de valores. Hay resistencias con valores de Ohms (Ω), Kiloohms ($K\Omega$), Megaohms ($M\Omega$). Estas dos últimas unidades se utilizan para representar resistencias muy grandes[21].

Para poder saber el valor de las resistencias sin tener que medirlas, existe un código de colores de las resistencias que permite obtener con facilidad este valor con sólo verlas. Por otra parte, para obtener la resistencia de cualquier elemento de un material específico, es necesario conocer algunos datos propios de éste, como son: su longitud, área transversal, resistencia específica o resistividad del material con que está fabricada[21].

Los **disipadores** de calor son componentes metálicos que se utilizan para evitar que algunos elementos electrónicos como los transistores bipolares, algunos diodos, SCR,

TRIACs, MOSFETS, etc., se calienten demasiado y se dañen. El calor que produce un transistor no se transfiere con facilidad hacia el aire que lo rodea[21].

Algunos transistores son de plástico y otros metálicos. Los que son metálicos transfieren con más facilidad el calor que generan hacia el aire que lo rodea y, si su tamaño es mayor, mejor. Es importante aclarar que el elemento transistor que uno ve, es en realidad la envoltura de un pequeño chip que es el que hace el trabajo, al cual se le llama juntura o unión. La habilidad de transmitir el calor se llama conductancia térmica y a su recíproco se le llama resistencia térmica (R_{th}) que tiene unidad de $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (grado Centígrado/Watt)[21].

En la Figura 2.5 se observa el diagrama circuital del Convertidor CD simulado en el módulo ISIS del software Proteus.

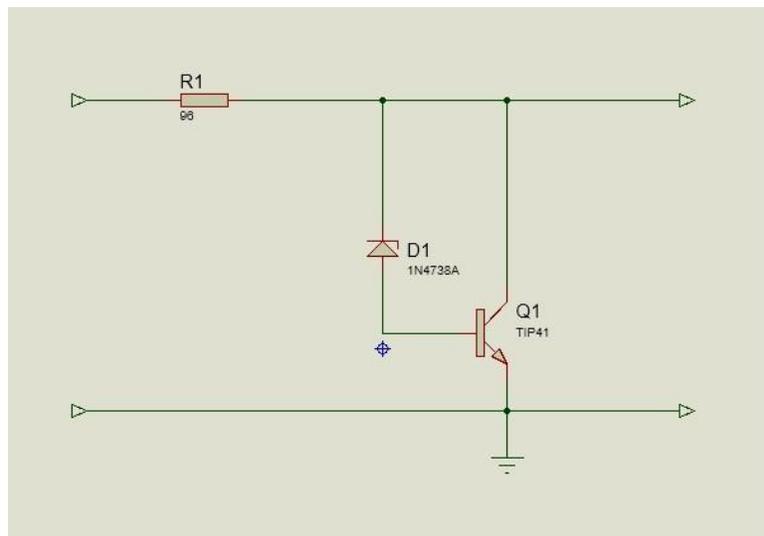


Figura 2.5 Regulador de 12 V a 9 V con zener

2.3.2 Fuente de voltaje CD de 5V y 9V

Este circuito tiene como función entregar 5V y 9V CD a la carga independiente de la variación del voltaje de entrada. El diseño de este circuito permite variaciones en la entrada que pueden ir desde 12V hasta 24V. Para estabilizar los voltajes de salida, se utilizan dos diodos zener, uno de 10 Volts y otro de 5.6 Volts, con un resistor asociado a cada diodo zener ($R1$ y $R3$), cuya función principal es limitar la corriente a través de los diodos zener. Asociado a cada diodo zener, hay un transistor de paso, que permite

ampliar la entrega de corriente. Cada transistor entregará en su emisor un voltaje igual al del diodo zener menos la caída de voltaje entre base y emisor.

En el primer transistor la salida será: $10 - 0.6 = 9.4$ V CD, para el segundo transistor la salida será: $5.6 - 0.6 = 5$ V CD. El primer transistor (asociado al zener de 10 Volts) tiene su colector conectado directamente a la fuente de entrada. El segundo transistor (asociado al zener de 5.6 Volts) tiene su colector conectado a la salida del primero. Este tipo de fuentes son muy prácticas y consumen poco[21].

Lista de componentes para el laboratorio

- **Resistores:** R1,R2,R3 = 560 ohms
- **Capacitores electrolíticos:** C2 = 1000uF/25V, C3 = 100uF/25V, C4 = 47uF/10V
- **Diodos Zener:** Z1 = 10V, Z2 = 5.6V
- **Transistores bipolares:** T1, T2 = 2N1711
- **Diodo LED**

Nota:

Los elementos de este laboratorio que se encuentran descritos en el anterior no serán repetidos en este, debido a que funcionan de la misma forma.

A diferencia de los capacitores comunes, los **capacitores electrolíticos** se han desarrollado para lograr grandes capacidades en dimensiones físicas reducidas. Este capacitor se logra con un dieléctrico especial.

Físicamente consta de un tubo de aluminio cerrado, dentro del cual se haya el capacitor. Está provisto de una válvula de seguridad que se abre en caso de que el electrólito (de allí viene el nombre) entre en ebullición evitando el riesgo de explosión. El capacitor electrolítico es un elemento polarizado, por lo que sus terminales no pueden ser invertidos. Generalmente el signo de la polaridad viene indicado en el cuerpo del capacitor[21].

El **LED**, como se muestra en la Figura 2.6, es un tipo especial de diodo, que trabaja como un diodo común, pero que, al ser atravesado por la corriente eléctrica, emite luz. Existen diodos LED de varios colores que dependen del material con el cual fueron construidos.

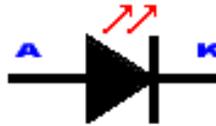


Figura 2.6 Diodo LED

En la Figura 2.7 se observa el diagrama circuital de la Fuente CD de 5V y 9V simulado en el módulo ISIS del software Proteus.

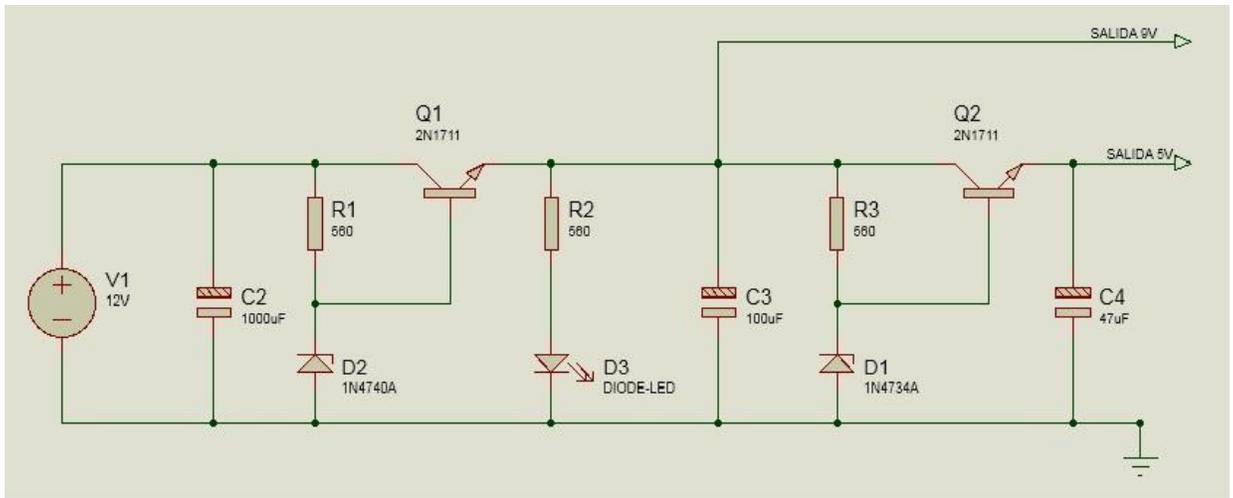


Figura2.7 Fuente CD de 5V y 9V

2.3.3 Elevador de voltaje CD 12V a 24V

Este elevador de voltaje de 12V CD a 24V CD es muy útil para alimentar dispositivos que funcionan con 24 V CD partiendo de una fuente de voltaje de 12 V CD como podría ser una batería de auto o similar.

El circuito se basa en un oscilador compuesto por: dos transistores bipolares NPN (T1 y T2) que llevan a corte y a saturación de forma alternada al transistor T4, un transistor MOSFET de canal N de potencia, con una capacidad de conducir una corriente hasta 18 Amperes, y una bobina, que es el elemento que ayuda a elevar el voltaje[21].

El transistor T3, forma parte de la red de realimentación y realimenta el voltaje de la salida hacia la compuerta del transistor T4, actuando cuando es necesario para corregir alguna variación del voltaje de salida. El voltaje de salida se establece con ayuda del diodo zener D4[21].

Nota:

Es preciso aclarar que se puede variar el voltaje en la salida de 24V con solo cambiar el zener por uno que posea un Vz distinto, ya que este diodo es el que fija el voltaje de salida en el circuito.

Lista de componentes para el laboratorio

- 2 resistencias 2.2K (R1,R4)
- 2 resistencias 1K (R5, R6)
- 3 resistencias 4.7K (R2,R3,R7)
- 1 resistencias 10K (R8)
- 2 condensador 100 nF (C1, C3)
- 1 condensador 10 nF (C2)
- 1 condensador 1000 uF (C4)
- 3 transistores bipolares NPN BC548 (T1,T2,T3)
- 1 transistor MOSFET de canal N de potencia IRF640 (T4)
- 3 diodos semiconductores 1N4007 (D1,D2,D3)
- 1 diodo zener de 24 Volts 1 watt o más (D4)
- 1 bobina creada

Nota:

La explicación de los elementos de este laboratorio, que se encuentran en el anterior, no será repetida, debido a que funcionan de la misma forma.

El transistor **MOSFET** (en inglés Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor) es un transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas. Es el transistor más utilizado en la industria microelectrónica, ya sea en circuitos analógicos o digitales, aunque el transistor de unión bipolar fue mucho más popular en otro tiempo. Prácticamente la totalidad de los microprocesadores comerciales están basados en transistores MOSFET[21, 22].

El MOSFET es un dispositivo de cuatro terminales llamados fuente (S, Source), drenador (D, Drain), puerta (G, Gate) y sustrato (B, Body). Sin embargo, el sustrato generalmente

está conectado internamente al terminal de fuente y por este motivo se pueden encontrar dispositivos MOSFET de tres terminales[22].

La **bobina o inductor** está formada de un alambre conductor con el cual se han hecho espiras a manera, en su forma más sencilla, de un resorte.

Si se aplica corriente continua a un inductor, éste se comporta como un corto circuito y dejará pasar la corriente a través de ella sin ninguna oposición. Pero en la bobina si existe oposición al paso de la corriente, y esto sucede sólo en el momento en que se hace la conexión a la fuente de voltaje y dura por un tiempo muy pequeño (estado transitorio). Lo que sucede es que en ese pequeño espacio de tiempo la corriente está variando desde cero hasta su valor final de corriente continua (la corriente varía con el tiempo por un espacio de tiempo muy pequeño)[21, 23].

En la Figura 2.8 se observa el diagrama circuital de elevador de voltaje CD de 12V a 24V simulado en el módulo ISIS del software Proteus.

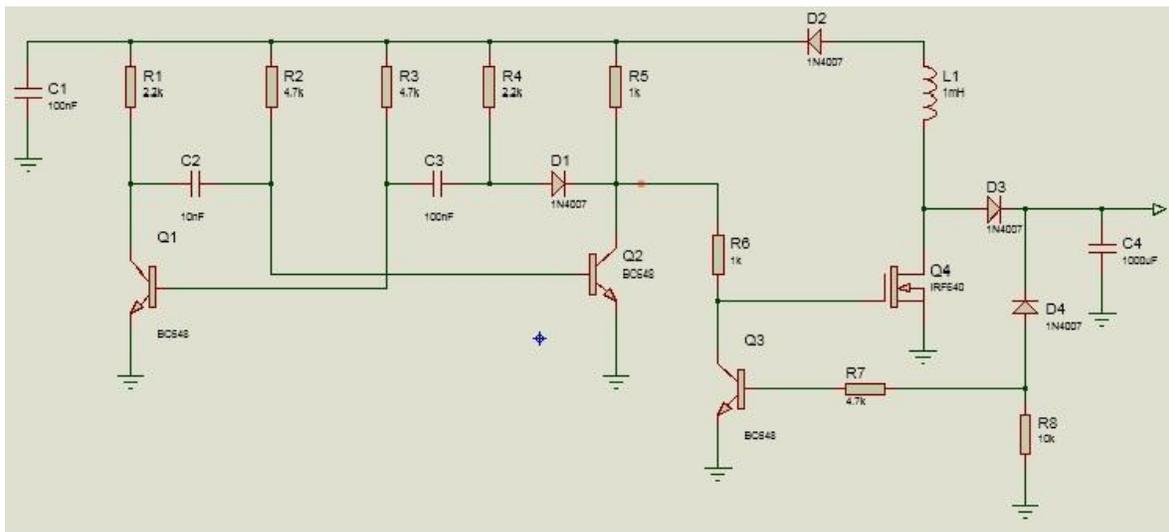


Figura 2.8 Elevador de voltaje CD de 12V a 24V

2.4 Montaje real de los laboratorios

Estos circuitos se montaron de manera práctica utilizando los elementos disponibles en el laboratorio de accionamientos eléctricos, para ello se contó con:

1 Breadboard

Se utiliza para el montaje de prácticas de laboratorio. Es portátil y de fácil manejo.. El resultado del experimento es muy preciso.



Figura 2.9 Breadboard DAC-457000

Está interconectada con 2.712 puntos de lazo de níquel plateado de contacto. Cuenta con muchas funciones de gran utilidad como son: Fuente de alimentación CD, potenciómetros, función de generación, adaptador de cuatro canales, interruptor de dos pulsos, 16 bits de pantalla LED, conector universal de soporte fijo, etc.

2 Fuente de alimentación

Fuente de alimentación utilizada para el montaje real de los tres circuitos. Cuenta con una gran estabilidad de tensión y corriente, de ajuste continuo de cero a valor nominal, protección de sobrecarga fiable y sobrevoltaje, pantalla de lectura del indicador de gran precisión.



3 Multímetro digital

El multímetro digital UNI-T UT70B es un instrumento multifuncional y permite medir los parámetros siguientes: corriente y voltaje AC/CD, resistencia, capacitancia, inductancia, frecuencia, temperatura, ejecutar test de diodos y chequeo de continuidad de circuitos.



Nota:

Para el montaje de estos circuitos prácticos se encontraron varias dificultades por la ausencia de determinados elementos, en el circuito elevador de voltaje no se contó con el diodo zener de 24V en su lugar se utilizaron dos zener de 12V cada uno conectados en serie, logrando un resultado satisfactorio. En la fuente de voltaje CD de 5V y 9V no se encontró un diodo zener de 10V, en su lugar fue utilizado uno de valor 9,3V, de ahí que el valor de la salida en el terminal de 9V es un poco menor al valor esperado, no siendo así en la implementación virtual, ya que en el software si se contó con el diodo específico. En el tercer laboratorio para la realización de la bobina se enrolló un alambre de 1 mm de sección alrededor de un núcleo de ferrita logrando obtener en esta la inductancia necesitada.

Conclusiones del capítulo

En este capítulo se explicó la importancia de las prácticas de laboratorios para la carrera de Ingeniería Eléctrica y los beneficios para el desarrollo de las habilidades científicas del estudiante. Además, se da una breve descripción del programa utilizado para el desarrollo de las simulaciones. Por último, se muestran los circuitos destinados para las prácticas, se da una explicación de por qué fueron seleccionados y se describe cada uno de ellos y de los componentes que lo integran.

Capítulo 3 Resultados obtenidos en el montaje de los laboratorios

Introducción

En este capítulo se muestran los resultados de cada uno de los circuitos, tanto simulados como de forma real, siendo las simulaciones en el software Proteus 8 Professional las primeras en cada uno de los casos, donde se conecta un voltímetro digital y un osciloscopio a la salida para comprobar el voltaje y su forma de onda. Luego están los resultados reales donde se pueden apreciar los circuitos totalmente montados y las mediciones de voltaje respectivas.

3.1 Reductor de voltaje CD de 12V a 9V

En la Figura 3.1 se muestran el circuito simulado en la aplicación ISIS del Proteus con un voltímetro digital colocado en la salida, donde se comprueban aproximadamente los 9V requeridos.

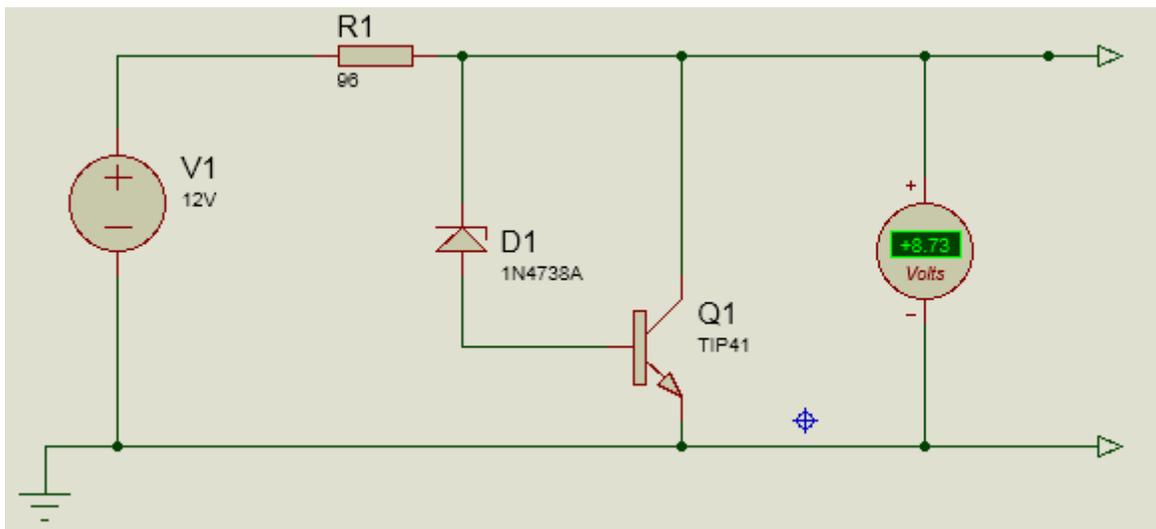


Figura 3.1 Reductor de voltaje CD de 12V a 9V con voltímetro a la salida

La forma de onda del voltaje a la salida se puede apreciar en la Figura 3.2, donde cada cuadrícula representa un valor de 2V, valor que puede ser ajustado por el usuario a su conveniencia.

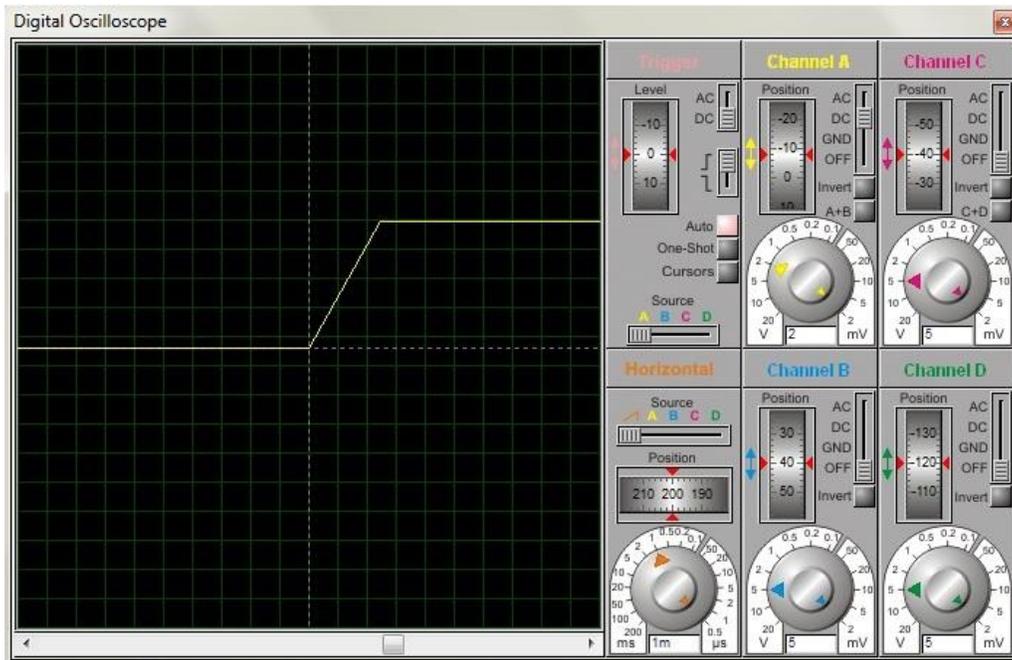


Figura 3.2 Forma de onda del voltaje a la salida del regulador

Por su parte en el montaje real del circuito, se obtuvieron los resultados esperados, como se muestra en la Figura 3.3, donde se observa el voltaje de entrada obtenido de la fuente, y el voltaje a la salida mostrado en el multímetro.



Figura 3.3 Circuito real con fuente, multímetro y Breadboard

3.2 Fuente de voltaje CD de 5V y 9V

Este circuito puede contar con una alimentación de 12V hasta 24V, sin alterar su salida, por lo que no se recomienda aplicar un voltaje mayor a este para proteger los elementos.

En la Figura 3.4 se muestran el circuito simulado en la aplicación ISIS del Proteus con dos voltímetros digitales colocados en la salida, donde se comprueban aproximadamente los 5V y 9V requeridos.

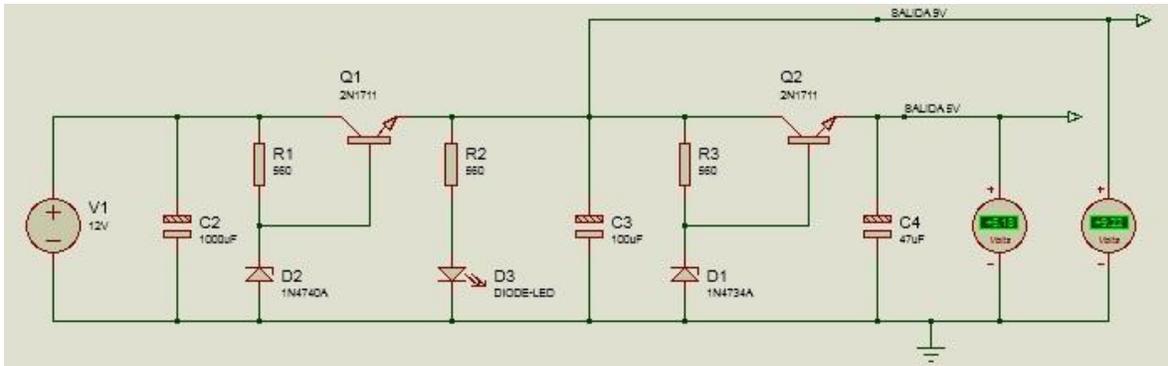


Figura 3.4 Fuente de voltaje CD con voltímetros a la salida

La Figura 3.5 es una ampliación del resultado con el objetivo de mostrarlo con mayor claridad.

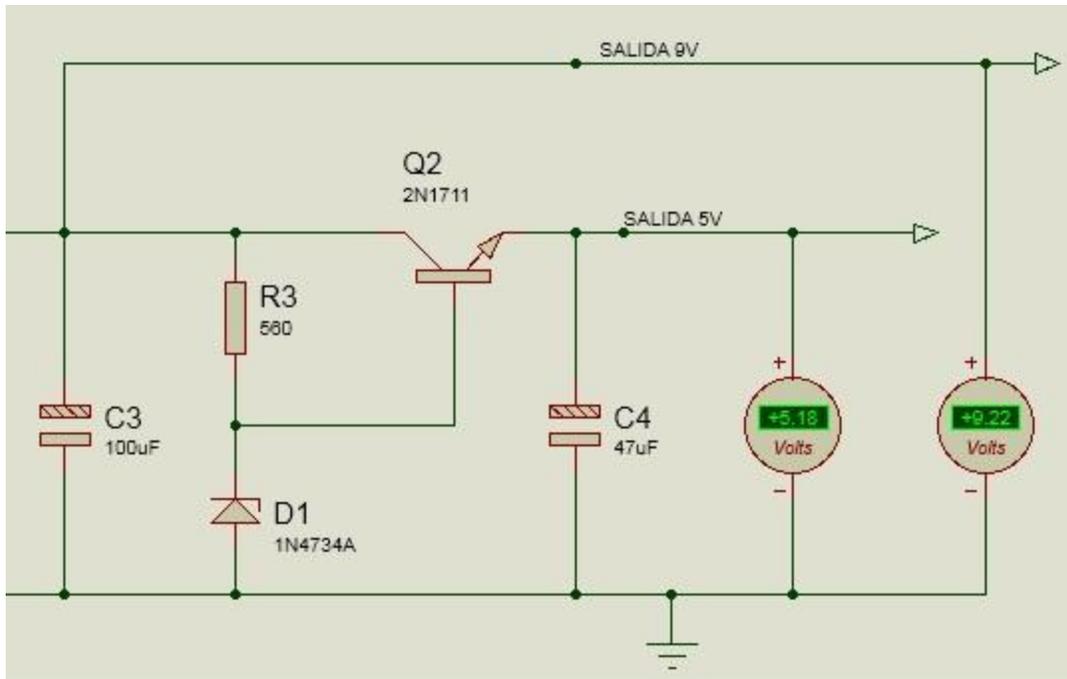


Figura 3.5 Fuente de voltaje CD, resultado ampliado

La forma de onda del voltaje a la salida se puede apreciar en la Figura 3.6 (5V) y Figura 3.7 (9V), donde cada cuadrícula representa un valor de 2V, valor que puede ser ajustado por el usuario a su conveniencia.

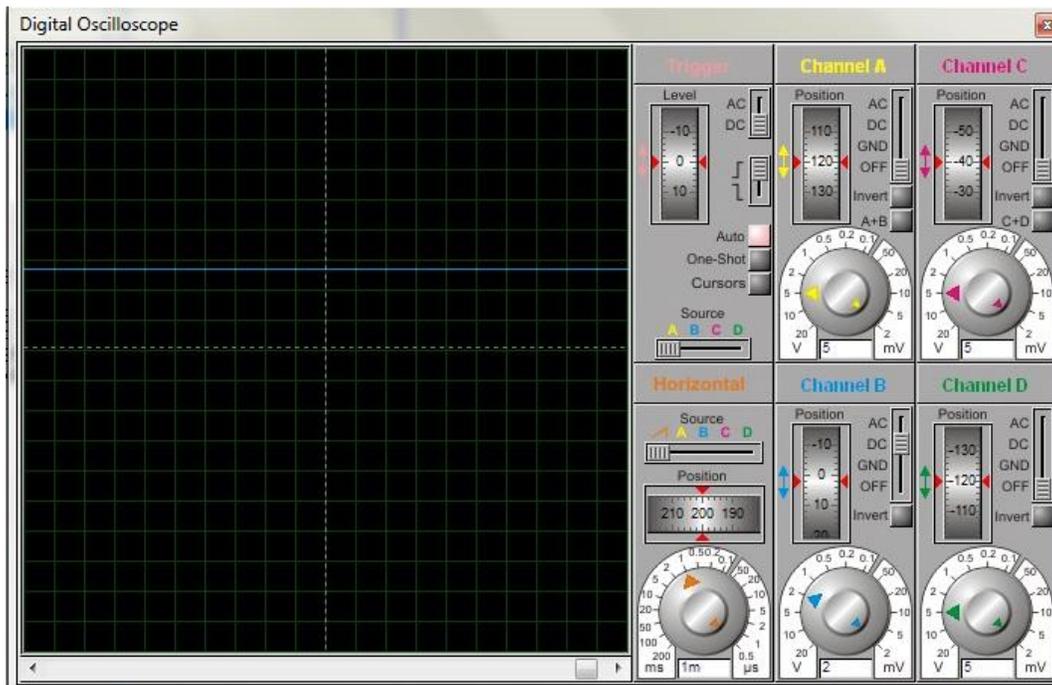


Figura 3.6 Forma de onda del voltaje a la salida de 5V de la fuente

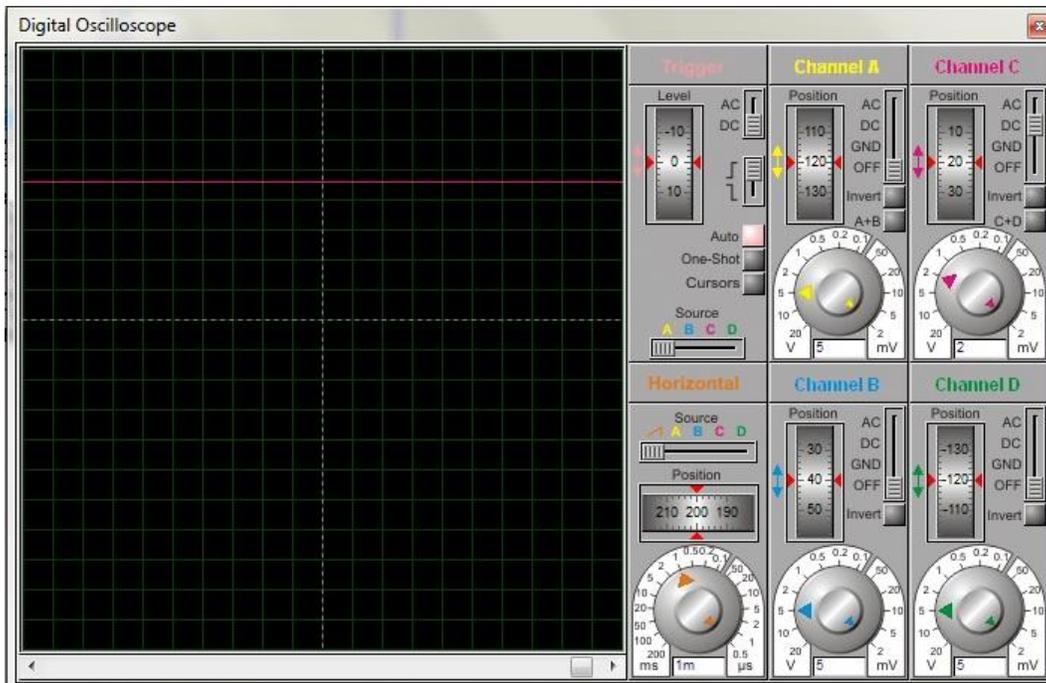


Ilustración 3.7 Forma de onda del voltaje a la salida de 9V de la fuente

Por su parte en el montaje real del circuito en la Breadboard, tal como se indica en la Figura 3.8, se obtuvieron los resultados esperados, como se muestra en las Figuras 3.9 y 3.10, donde se observa el voltaje de entrada obtenido de la fuente, y el voltaje a la salida mostrado en el multímetro.

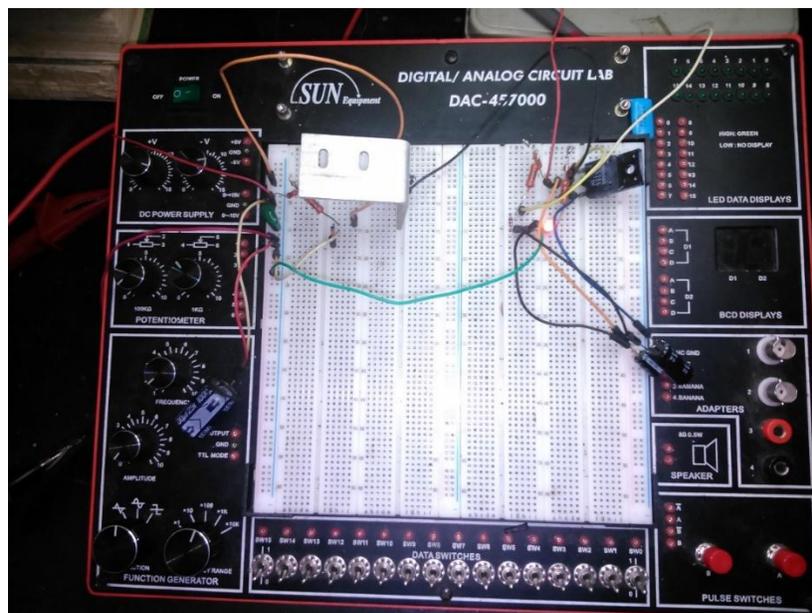


Figura 1.8 Montaje real de la fuente CD de 5V y 9V



Figura 3.9 Medición del terminal de 5V en la fuente

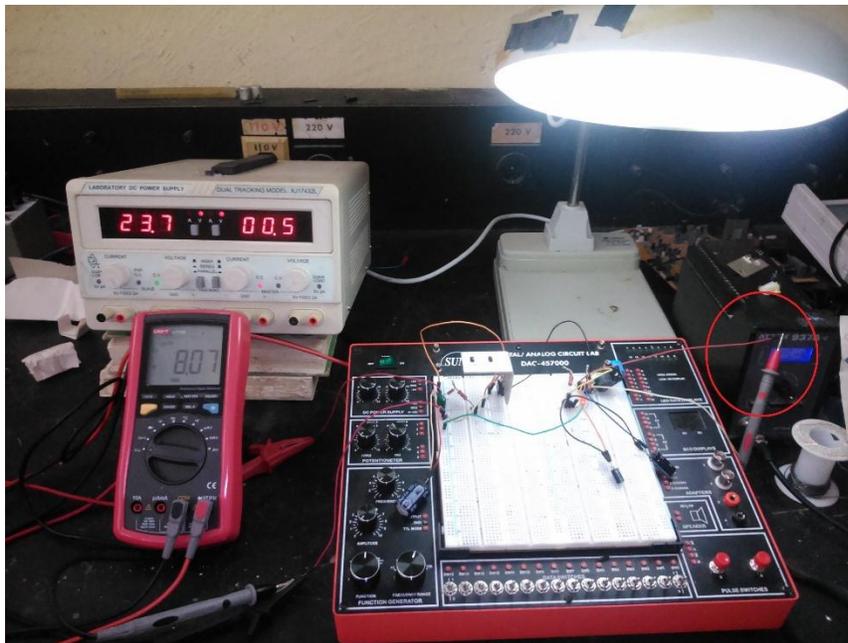


Figura 3.10 Medición del terminal de 9V en la fuente

3.3 Elevador de voltaje CD de 12V a 24V

Una vez simulado el circuito CD elevador de voltaje de 12V a 24V se obtuvieron los siguientes resultados:

En la simulación realizada se midió el voltaje de salida del circuito colocando un voltímetro digital. Como se puede observar en la Figura 3.11 y 3.12, para el circuito montado en la aplicación ISIS del Proteus, se obtiene un voltaje fijo CD de aproximadamente 24V.

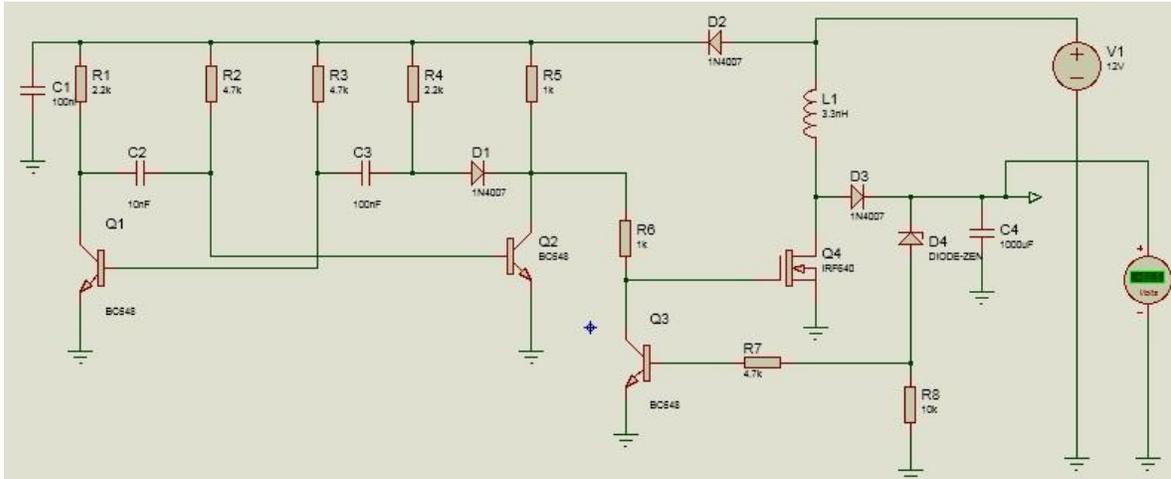


Figura 3.11 Elevador de voltaje con voltímetro a la salida

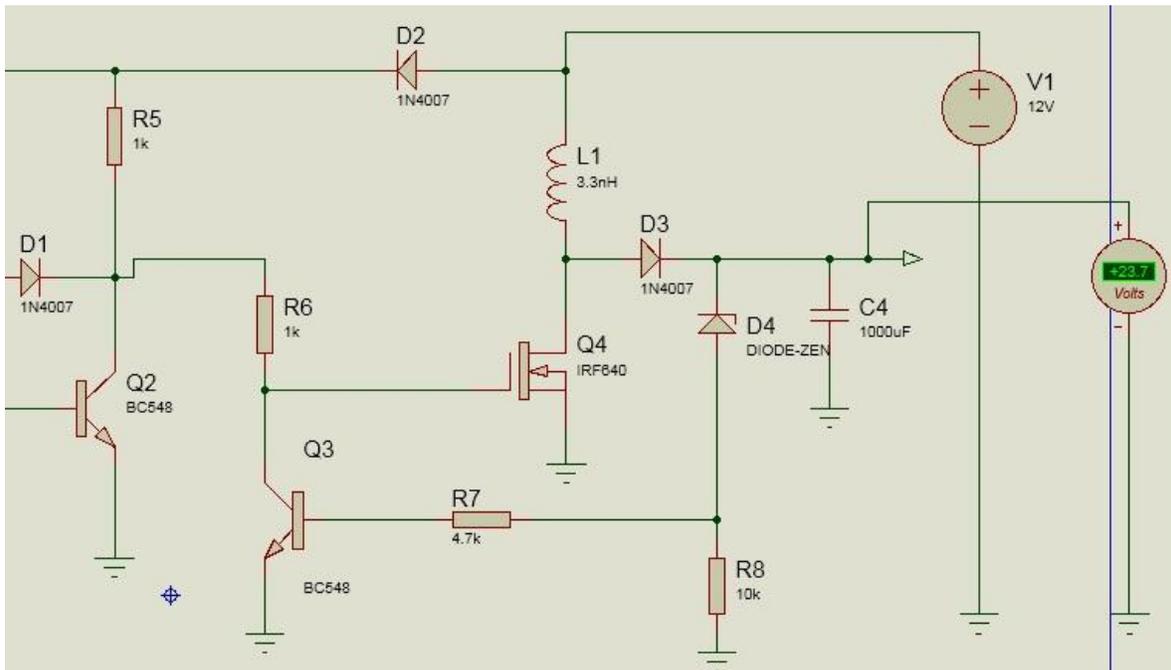


Figura 3.12 Elevador de voltaje, resultado ampliado

La forma de onda del voltaje a la salida se puede apreciar en la Figura 3.13, donde cada cuadrícula representa un valor de 2V, valor que puede ser ajustado por el usuario a su conveniencia.

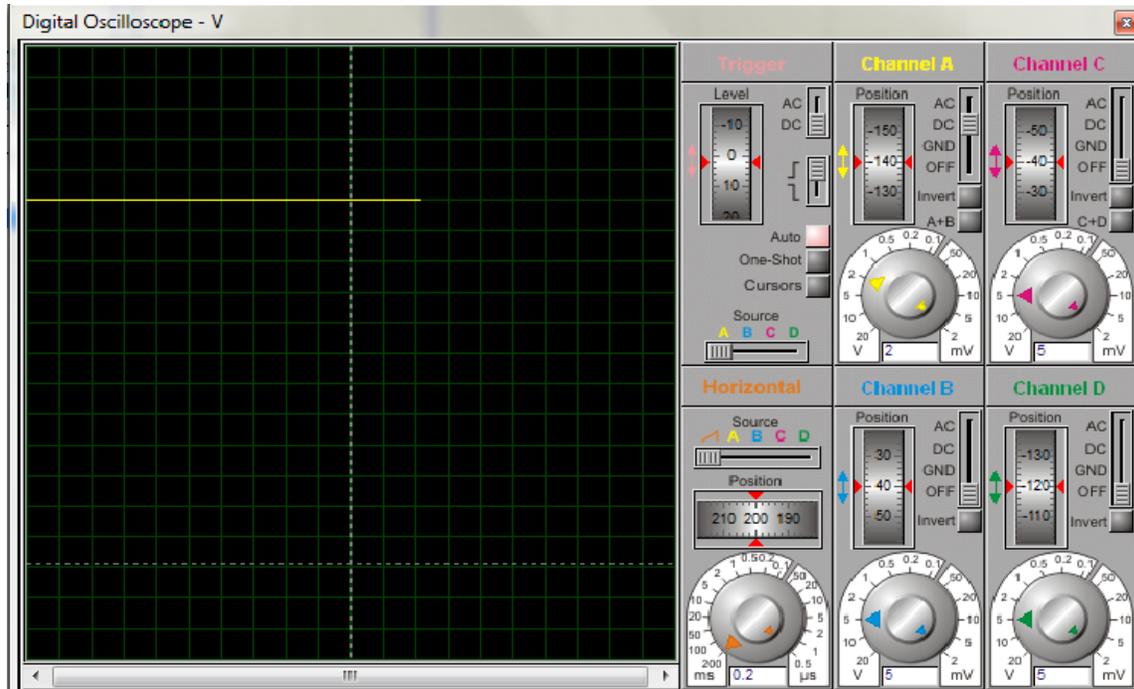


Figura 3.13 Forma de onda del voltaje a la salida del elevador

Por su parte los resultados del montaje real del circuito de la Figura 3.14, se muestran en la Figura 3.15, donde se observa el voltaje de entrada obtenido de la fuente, y el voltaje a la salida mostrado en el multímetro.

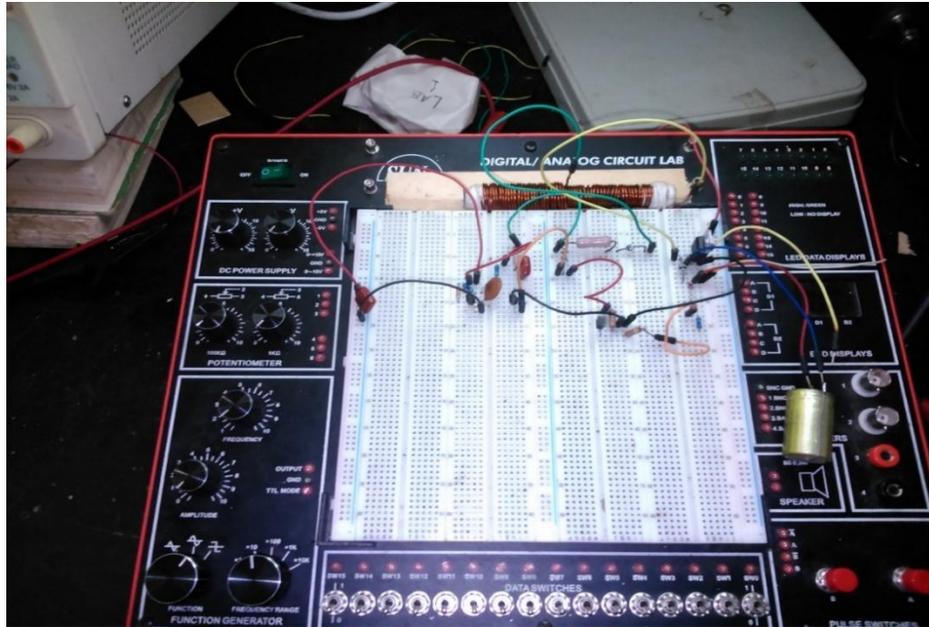


Figura 3.14 Circuito real del elevador de voltaje

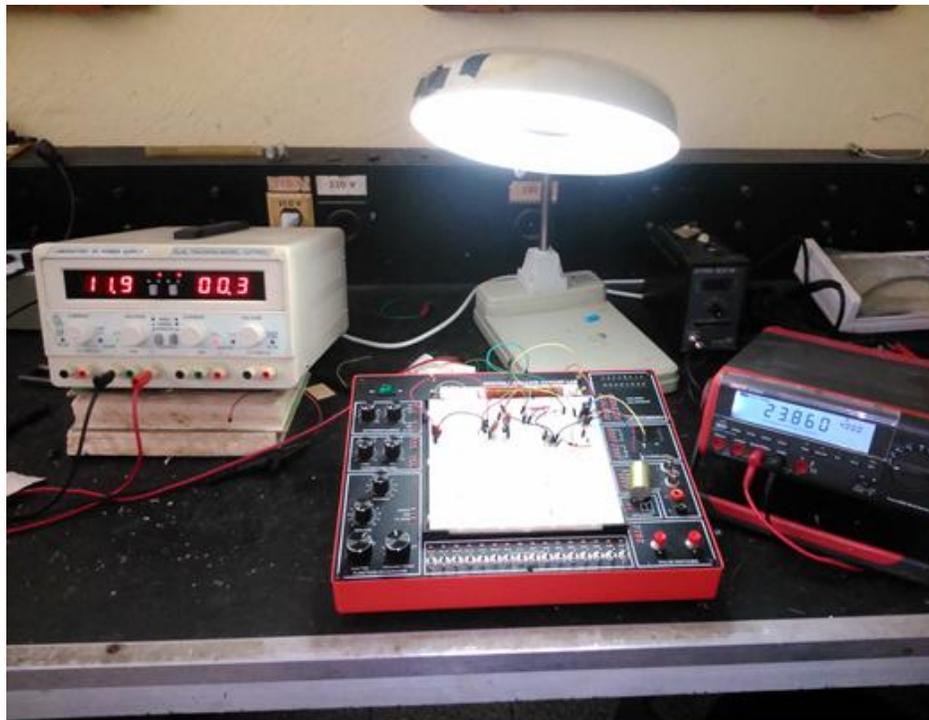


Figura 3.15 Resultados del montaje real del elevador

Conclusiones del capítulo

En el capítulo se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones y montajes reales de los laboratorios. En cada uno de los epígrafes se trató un circuito diferente,

CAPÍTULO 3 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MONTAJE DE LOS LABORATORIOS

mostrándose las características de voltaje a la salida y comportamiento de cada uno de ellos. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios pues se alcanzaron valores de gran proximidad a los deseados. Estos circuitos serán destinados a prácticas de laboratorio para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica con el objetivo de motivarlos y familiarizarlos con la asignatura Electrónica de Potencia y la carrera.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos con este trabajo, se establecen las conclusiones siguientes:

1. En el trabajo se aborda el tema de los reguladores estáticos de tensión particularizando en los aspectos esenciales de cada uno de ellos, como son: topología, principio de funcionamiento, ventajas, desventajas, métodos de control y aplicaciones.
2. En el montaje de los laboratorios reales fue necesario sustituir algunos de los elementos del circuito original debido a la no existencia de estos en el mercado, no afectando esto la obtención de los resultados
3. Los resultados obtenidos, tanto reales como simulados, en el montaje de los laboratorios se corresponden con los valores empíricos.
4. Se conformó un manual de prácticas de laboratorio para ser utilizado en la asignatura de Electrónica de Potencia.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones

1. Proponer a la disciplina de Electrónica de Potencia y Accionamiento el empleo del material elaborado, como medio de enseñanza, para la impartición de estos temas en la docencia.
2. Incluir el análisis de los RET operando como interruptores estáticos de tensión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. T. 2, "Introducción a la Electrónica de Potencia," in *Electrónica Industrial*, ed, 2012.
- [2] EcuRed. (2016, 13 de mayo). *Electrónica de Potencia*. Available: <http://EcuRed>
- [3] ClubEnsayos. (2011, 15 de abril). *Introducción a la Electrónica de Potencia*. Available: <http://clubensayos.com>
- [4] U. d. I. A. Puebla, "Converidores de potencia," ed, 2013.
- [5] M. M. Canteli, "Regulación, control y protección de máquinas eléctricas," ed. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, 2010.
- [6] U. d. Valencia, "Reguladores e interruptores estáticos de continua," ed, 2016.
- [7] J. D. A. Peña, "Convertidores CD/AC," ed. Universidad de Jaen. España, 2010.
- [8] U. d. Valencia, "Reguladores e interruptores estáticos de continua," ed, 2002-2003.
- [9] Daniel_Estrella_Alvaro, *Power Semiconductor Drives*, 2009.
- [10] G. H. Acero, *Electrónica Industrial componentes circuitos y Sistemas de Potencia* 2016.
- [11] I. J. R. Rivas., *Fundamentos del Accionamiento Electrónica de motores*
- [12] U. d. Valencia, "Choppers," 2012.
- [13] U. d. Valencia, "Reguladores e interruptores estáticos de alterna," ed, 2002-2003.
- [14] A. J. B. Becerra. (2011, 20 de abril). *Reguladores AC/AC*. Available: REGULADORES AC - AC - Telergia - FGW Latin America & Caribbean.htm
- [15] H. E. Tacca, "Reguladores de corriente alterna," T. y. P. Laboratorio de Control de Accionamientos, Ed., ed, 2014.
- [16] L. A. y. C. Federico González Eilson. (2011, 21 de mayo). *Reguladores AC/AC*. Available: <http://REGULADORES AC-AC Telergia>
- [17] Z. C. Salcedo Torres, "Las practicas de laboratorio en la enseñanza de la química en educación superior," 2006.
- [18] A. F. Garcia. (2011, 12 de abril). *La enseñanza tradicional*. Available: <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/Introduccion/fisica/fisica2.htm#Los%20trabajos%20pr%C3%A1cticos%20en%20el%20laboratorio>
- [19] J. A. N. N. German Urrea Quirola, "La importancia de los laboratorios en la formación del ingeniero," Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
- [20] P. A. S. Rojas, "Manual de uso del programa de diseño de circuitos y simulación Proteus Layout Editor," ed, 2008.
- [21] E. Unicrom. (2016, 24 de abril). *Aplicaciones de circuitos electrónicos*. Available: <http://unicrom.com/>
- [22] J. G. Campomanes. (2016, 20 de mayo). *MOSFET* Available: <http://MOSFET «Patent US1900018:Device for controlling electric current>
- [23] C. I. P. Office, *Inductor*, 2016.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS