

## CONVERTIDORES CD-CD

### 2.1 INTRODUCCIÓN

---

En muchas aplicaciones industriales, es necesario el convertir una fuente de poder de corriente directa (CD) de voltaje fijo a una fuente de CD de voltaje variable. Un convertidor de CD, convierte directamente de CD a CD. Este convertidor se puede considerar como el equivalente a un transformador de corriente alterna (CA) con una relación de vueltas que varía en forma continua. Al igual que un transformador, puede utilizarse como una fuente de CD reductora o elevadora de voltaje [1].

Los convertidores CD-CD se utilizan ampliamente en el control de los motores de tracción de automóviles eléctricos, tranvías eléctricos, grúas marinas, montacargas y elevadores de minas. En lo que a nosotros nos concierne el convertidor CD-CD se utilizará en la primera etapa del balastro para la corrección del factor de potencia y obtener una salida en CD estable para alimentar el inversor resonante el cual trabajará en alta frecuencia. En este capítulo se analizarán 3 topologías de convertidores CD-CD las cuales son: Topología Elevadora, Reductora-elevadora y Flyback.

## 2.2 CONVERTIDOR ELEVADOR

---

### 2.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN ELEVADORA.

Un convertidor se puede utilizar para elevar un voltaje de CD. Cuando el interruptor Q se cierra durante el tiempo  $t_1$ , la corriente del inductor se eleva y la energía se almacena en el inductor L. Si durante el  $t_2$  el interruptor se abre, la energía almacenada de inductor se transfiere a la carga a través del diodo D y la corriente del inductor se abate.

### 2.2.2 FUNCIONAMIENTO ELEVADOR.

En un convertidor elevador el voltaje de salida es mayor que el voltaje de entrada, de ahí la palabra “Elevador”. En la figura 2.1 se muestra un convertidor elevador que utiliza un MOSFET de potencia como interruptor. La operación del circuito se puede dividir en dos modos. El modo 1 empieza cuando se activa el transistor Q en  $t = 0$ . La corriente de entrada, que se eleva, fluye a través del inductor L y del transistor Q. El modo 2 empieza cuando se desconecta el transistor Q en  $t = t_1$ . La corriente que estaba fluyendo a través del transistor fluirá ahora a través de L, C, la carga y el Diodo D. La corriente del inductor se abate hasta que se vuelve a activar en el siguiente ciclo del transistor Q. La energía almacenada en el inductor L es transferida a la carga [1]. Los circuitos equivalentes para estos modos de operación se aparecen en la figura 2.2.

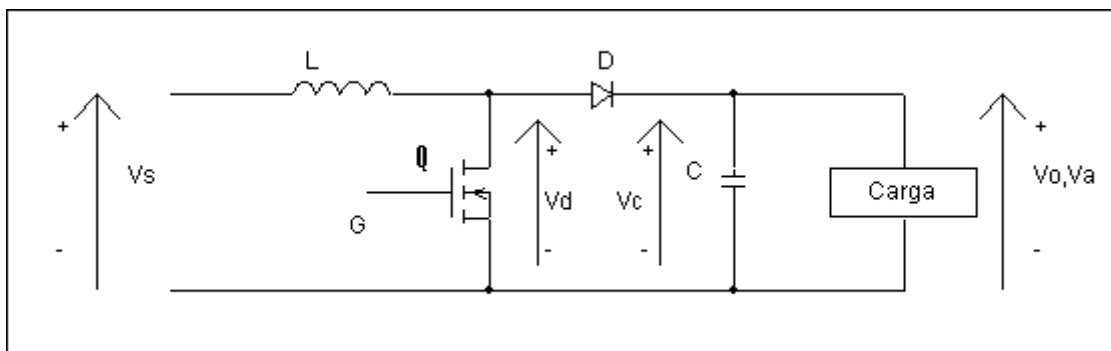


Fig. 2.1 Diagrama del circuito elevador

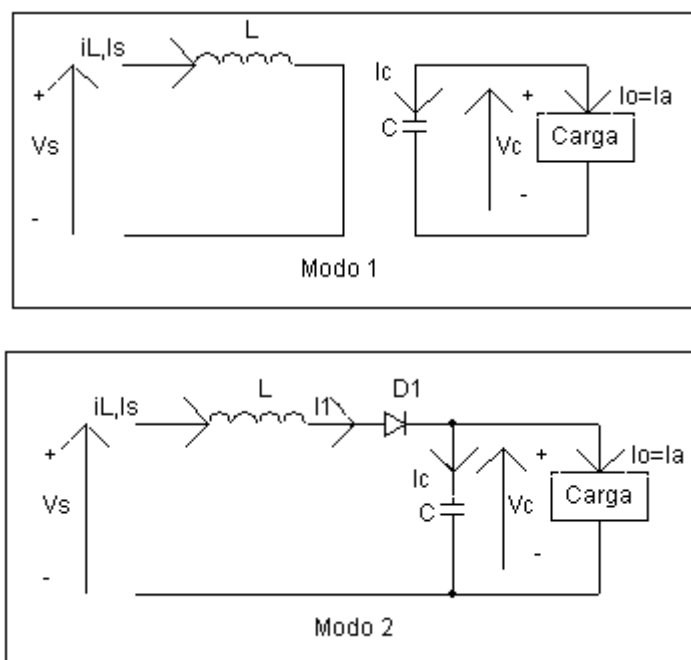


Fig. 2.2 Circuitos Equivalentes elevador

La ecuación característica de este convertidor para determinar su voltaje de salida es la siguiente [1].

$$V_o = \frac{V_s}{1 - \alpha} \quad (2.1)$$

$V_s$  = Voltaje de Entrada

$V_o$  = Voltaje de Salida

$\alpha$  = Ciclo de Trabajo

Si suponemos un circuito sin pérdidas, la corriente promedio de entrada esta dada por:

$$I_s = \frac{I_o}{1 - \alpha} \quad (2.2)$$

$I_o$  = Corriente promedio de salida

$I_s$  = Corriente promedio de entrada

$\alpha$  = Ciclo de Trabajo

La corriente de la componente ondulatoria pico a pico y la componente de voltaje están dadas por:

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot \alpha}{f \cdot L} \quad \Delta V_c = \frac{I_o \cdot \alpha}{f \cdot C} \quad (2.3)$$

$\Delta I$  = Corriente de la componente ondulatoria pico a pico

$\Delta V_c$  = Voltaje de la componente ondulatoria pico a pico

$\alpha$  = Ciclo de Trabajo       $V_s$  = Voltaje de Entrada       $I_o$  = Corriente promedio de salida

$f$  = frecuencia de conmutación       $C$  = capacitor       $L$  = inductor

Un regulador elevador puede subir el voltaje de salida sin necesidad de un transformador. Gracias a que sólo cuenta con un transistor, su eficiencia es alta y la corriente de entrada es en este caso continua. Asimismo, este convertidor puede operar en dos modos: modo de conducción discontinua (MCD) y modo de conducción continua (MCC). Estos modos se refieren al comportamiento de la corriente del inductor. Por otra parte el voltaje de salida es muy sensible a cambios en el ciclo de trabajo  $\alpha$  y puede resultar difícil estabilizar el convertidor.

## 2.3 CONVERTIDOR REDUCTOR-ELEVADOR

El convertidor reductor-elevador o también conocido como buck-boost suministra un voltaje de salida que puede ser mayor o menor al de la entrada, asimismo la polaridad del voltaje de salida es inversa a la del voltaje de entrada.

La operación del circuito se puede dividir en dos modos. Durante el modo 1, el transistor Q está activo y el diodo D tiene polarización inversa. La corriente de entrada, que se eleva, fluye a través del inductor L y del transistor Q. Durante el modo 2, el transistor Q es conmutado y la corriente, que fluirá a través del inductor L, fluirá a través de L, C, D y la carga. La energía almacenada en el inductor L se transferirá a la carga y la corriente del inductor se abatirá hasta que el transistor Q vuelva activarse en el siguiente ciclo [1]. En la figura 2.3 se muestra el diagrama del circuito reductor-elevador y en la figura 2.4 sus circuitos equivalentes.

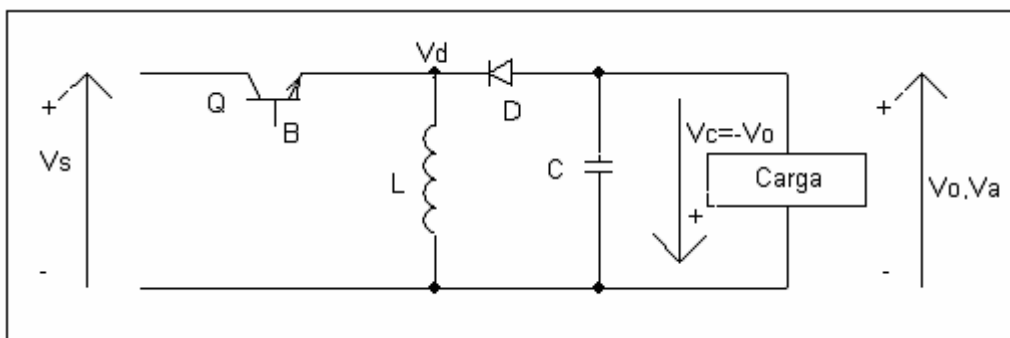


Fig. 2.3 Diagrama del circuito reductor-elevador

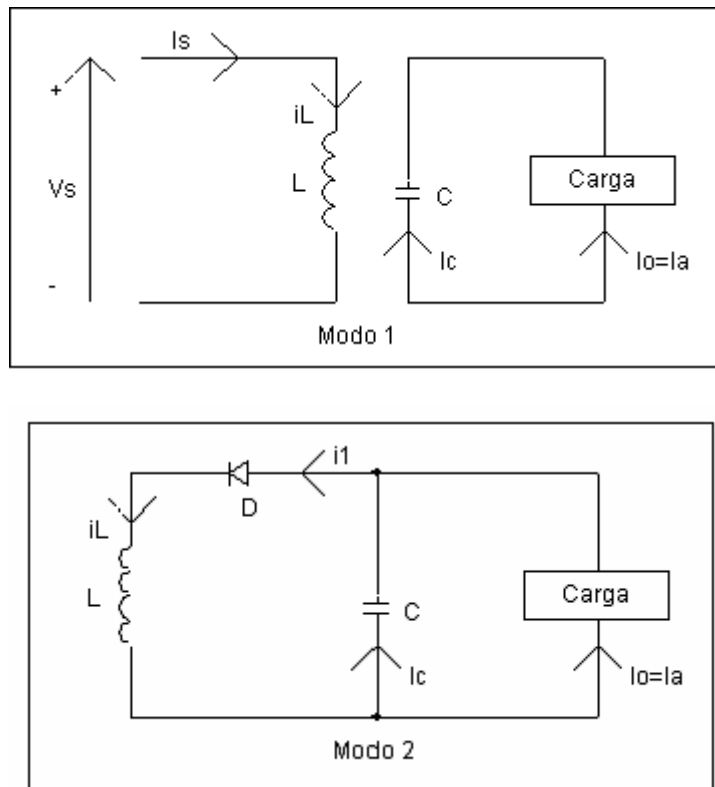


Fig. 2.4 Circuitos equivalentes reductor/elevador

La ecuación característica de este convertidor para determinar su voltaje de salida es la siguiente [1].

$$V_o = -V_s \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (2.4)$$

$V_s$  = Voltaje de Entrada

$V_o$  = Voltaje de Salida

$\alpha$  =Ciclo de Trabajo

Si suponemos un circuito sin pérdidas, la corriente promedio de entrada esta dada por:

$$I_s = I_o \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (2.5)$$

$I_o$  = Corriente promedio de salida

$I_s$  = Corriente promedio de entrada

$\alpha$  = Ciclo de Trabajo

La componente ondulatoria pico a pico de la corriente y del voltaje está dada por:

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot \alpha}{f \cdot L} \quad \Delta V_c = \frac{I_o \cdot \alpha}{f \cdot C} \quad (2.6)$$

$\Delta I$  = Corriente de la componente ondulatoria pico a pico

$\Delta V_c$  = Voltaje de la componente ondulatoria pico a pico

$\alpha$  = Ciclo de Trabajo       $V_s$  = Voltaje de Entrada       $I_o$  = Corriente promedio de salida

$f$  = frecuencia de conmutación       $C$  = capacitor       $L$  = inductor

Un convertidor reductor-elevador suministra inversión de polaridad de voltaje de salida sin necesidad de un transformador. Tiene alta eficiencia. En caso de una falla del transistor, el di/dt de la corriente de falla queda limitado por el inductor L y será  $V_s/L$ . Sería fácil poner en práctica la protección en corto circuito de la salida. Sin embargo, la corriente de entrada es discontinua y a través del transistor Q fluye una corriente de pico alta [1].

## 2.4 CONVERTIDOR FLYBACK

El convertidor Flyback usa normalmente un solo transistor  $Q$ . Durante la primera mitad del periodo de conmutación, el transistor  $Q$  está operando y de esta manera es almacenada la energía en el transformador primario; durante la segunda mitad del periodo esta energía es transferida al secundario del transformador y también hacia la carga. En la figura 2.5 se muestra el diagrama para un convertidor flyback.

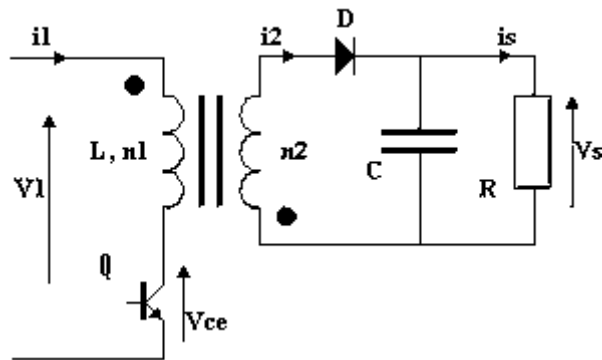


Fig. 2.5 Diagrama del circuito Flyback

El elemento magnético funciona como inductancia de acumulación de energía. Durante un período  $T$ , la energía almacenada es [13]:

$$W = V_1 \cdot \frac{i_{1M}}{2} \cdot t_1 \quad (2.7)$$

$i_{1M}$  = Corriente  $i_1$  Máxima



En el transistor Q cuando el diodo D conduce, el voltaje en las terminales del devanado n2 es Vs. El voltaje resultante en las terminales del devanado n1 (variación del flujo F) es [13]:

$$\frac{n1}{n2} V_s \Rightarrow V_{ce0} \geq V_1 + \frac{n1}{n2} V_s \quad (2.8)$$

$$I_c \geq \frac{V_1}{L} t_1 \quad (2.9)$$

El voltaje Vs puede ser ajustado por medio de la relación cíclica t1/T, pero de igual forma por el período de conmutación del transistor Q. El número de vueltas n1 es determinado a partir del valor de la inductancia L. n2 es calculado de la ecuación 2.8 con el fin de disminuir los altos voltajes en el transistor Q.

Una de las ventajas que presenta el convertidor flyback, es que no es necesario una tensión alta en el bus de CD para obtener un alto factor de potencia como en el caso del convertidor elevador. Además de que con la relación de vueltas del transformador se tiene un grado más de libertad en el momento de seleccionar el voltaje de entrada al inversor resonante.

## 2.5 ELECCIÓN DEL CONVERTIDOR CD-CD PARA EL BALASTRO.

---

El convertidor seleccionado para la primera etapa del balastro electrónico mono-etapa fue el convertidor reductor-elevador monofásico pero con unas pequeñas variaciones en su topología que nos permitirán corregir el factor de potencia.

Esta topología nos brinda dos ventajas principales sobre los dos circuitos presentados. La primera es la corrección del factor de potencia de manera natural trabajando en modo de conducción discontinuo (MCD). Por otra parte la topología reductor-elevador trabajando en MCD, proporciona bajo estrés de tensión en los interruptores, cuando se compara con la topología elevadora trabajando como corrector de factor de potencia. Asimismo, el reductor-elevador trabaja a frecuencia constante y en MCD proporcionando factor de potencia alto sin ningún condicionamiento ni restricción. Por consiguiente no es necesario tener una elevada tensión en la salida para obtener un buen factor de potencia como en el caso del convertidor elevador. Comparado el circuito reductor-elevador con el flyback se tiene que este último utiliza un transformador en su topología lo cual nos incrementaría el volumen de nuestro balastro.

Como el convertidor reductor-elevador va estar alimentado por la corriente de línea es necesario la conversión de corriente alterna a corriente continua. Este proceso se efectúa por medio de un rectificador de onda completa, como puede ser un puente de diodos y un filtro para obtener un voltaje continuo. Este circuito se describirá más detalladamente en el capítulo 5 mostrando el análisis teórico, los valores nominales para los componentes y simulaciones.