

Capítulo 3

Convertidores y Fuentes Modulares

Las topologías modulares son ejemplo del uso de los convertidores al ser configuradas como se muestra en el capítulo siguiente. Los convertidores CD-CD se encargan de convertir una tensión continua en otro nivel de tensión continua; normalmente proporcionan una salida regulada [12]. Podemos encontrar aplicaciones donde los dispositivos semiconductores se usan en los convertidores como por ejemplo: sistemas residenciales, industriales, de transportación y aeroespaciales.

3.1 Introducción

Hoy en día los sistemas de potencia requieren de una arquitectura que permita hacer más hábil la reconfiguración de la energía, en aplicaciones que el usuario demande mayor potencia. Las fuentes modulares conmutadas en alta frecuencia, son una solución al poder usar circuitos idénticos y dividir la potencia entre los mismos. Para ello se explican algunos convertidores de CD-CD. En las arquitecturas modulares los convertidores se pueden conectar en serie o en paralelo para cumplir con las especificaciones que demande la carga.

Describir un sistema de electrónica de potencia es pensar en cualquier cantidad de convertidores que usan dispositivos semiconductores dentro de su topología. Son parte fundamental del sistema puesto que controlan y comparten variables de entrada y salida, que varían en el dominio del tiempo. En específico un convertidor CD-CD convierte un

voltaje de CD a otro. Los convertidores se clasifican según los tipos de dispositivos que usan, función del convertidor, la conmutación de los dispositivos, etc. [13].

Si clasificamos a los convertidores en base a como se conmutan sus interruptores podemos tener 2 opciones y son:

- Convertidores de frecuencia de línea: aquí la utilidad del voltaje de facilita el apagado del dispositivo semiconductor. La frecuencia de línea alrededor de los 50 y 60 Hz es usada para encender y apagar el dispositivo.
- Convertidores Conmutados: las frecuencias en las que conmutan los interruptores son mucho mayor a las frecuencias de línea por lo que la salida puede ser un nivel de CD a una frecuencia comparable a la de línea.

3.2 Convertidores CA-CD

Para la conversión CA-CD se necesitan convertidores estáticos de energía, comúnmente denominados rectificadores. Por tanto, un rectificador es un sistema electrónico de potencia cuya función es convertir una tensión alterna en una tensión continua. En una primera clasificación, podemos diferenciar los rectificadores de acuerdo con el número de fases de CA de entrada (monofásico, bifásico, trifásico, hexafásico, etc.) [13,14]. Dentro de estos, podemos diferenciar los rectificadores en función del tipo de conexión de los elementos (media onda y de onda completa) [11]. Otra posible clasificación

es según su capacidad de ajustar el valor de la tensión de salida, ello depende de si se emplean diodos o tiristores.

Por ello la clasificación para los rectificadores de CA-CD se hace para las siguientes configuraciones:

- Rectificadores no controlados: Cuando se rectifica una señal se necesita de elementos electrónicos (diodos) que permitan el paso de la corriente en un sentido, permaneciendo bloqueado cuando se le aplique una tensión de polaridad inversa a la de conducción.
- Rectificador monofásico de media onda: es el rectificador más sencillo que existe, y en consecuencia el más barato. Simplemente es necesario un diodo entre la alimentación de alterna y la carga, tal y como se muestra en la Figura 3.1. Podría existir un transformador si se desea aislamiento galvánico entre la red eléctrica y la carga. Este circuito sólo rectifica la mitad de la tensión de entrada, cuando el ánodo es positivo con respecto al cátodo.

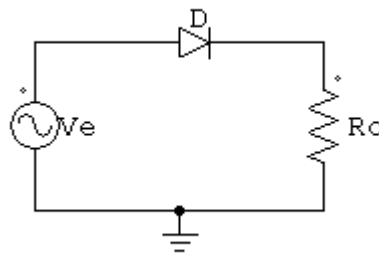


Fig. 3.1 Rectificador monofásico de media onda con carga resistiva

- Rectificador con transformador de toma media: En este caso, para rectificar la onda completa, se utilizan 2 diodos, en una configuración denominada rectificadora con transformador en toma media como en la Figura 3.2.

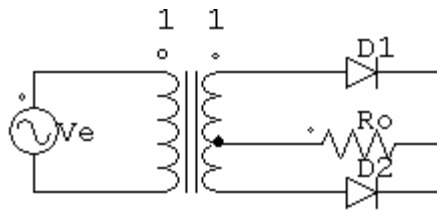


Fig. 3.2 Rectificador monofásico con transformador de toma media y carga resistiva

- Rectificador en puente: para rectificar la onda completa, se utilizan 4 diodos, en una configuración denominada puente completo o puente de Graetz, Figura 3.3. Recibe el nombre de puente rectificador, por estar formado por cuatro diodos conectados en puente y su principal ventaja es que no necesita transformador. Conducen siempre dos diodos simultáneamente. Si la tensión en la entrada del rectificador es positiva (semiciclo positivo), conducirán D1 y D2 mientras que D3 y D4 estarán polarizados inversamente y, por tanto, estarán bloqueados. Si por el contrario, la tensión es negativa (semiciclo negativo), conducirán D3 y D4. Figura 3.4. En general para saber qué diodo puede conducir, hay que analizar cuál de los cuatro tiene mayor tensión en su ánodo y el que tiene menos tensión en su cátodo.

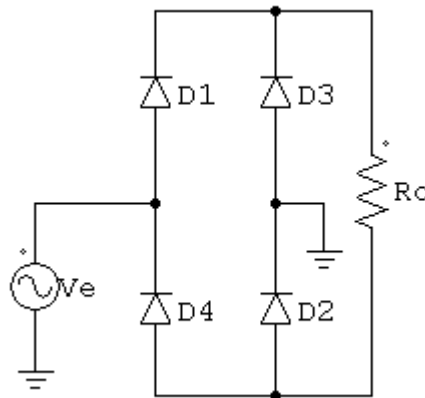


Fig. 3.3 Puentes rectificadores monofásicos no controlados de onda completa.

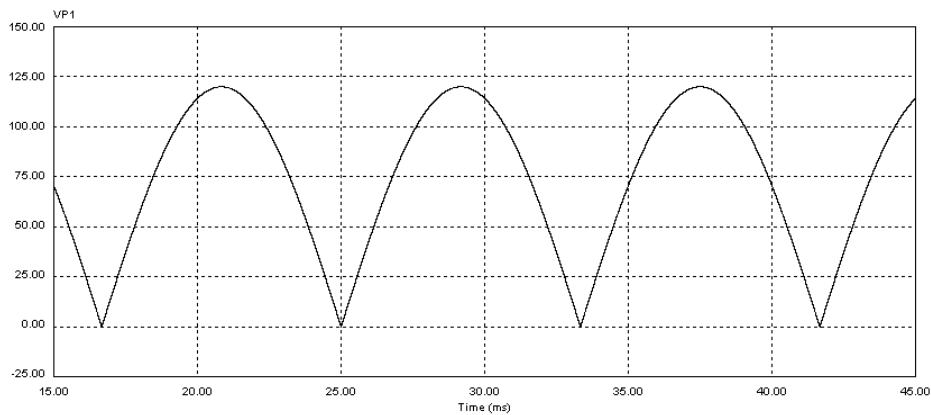


Fig. 3.4 Tensión en la carga para el puente rectificador monofásico no controlado

El puente rectificador es más adecuado para aplicaciones de alta tensión, debido a que existe menor tensión pico en las terminales de los diodos. Por otra parte el rectificador con transformador de toma media proporciona aislamiento eléctrico; es común en aplicaciones de baja tensión y alta corriente ya que sólo presenta la caída de tensión de un diodo entre el generador y la carga [12].

Si se conectara un capacitor de un gran valor en paralelo a la salida como se muestra en la Figura 3.5, se produce un voltaje de salida con mayor similitud a un voltaje continuo. El análisis es similar al rectificador de media onda. La tensión de salida es una función sinusoidal positiva cuando un par de diodos conducen y exponencial cuando los diodos están al corte. Se muestra en la Ecuación 3.1:

$$V_o = \begin{cases} |V_m \text{sen } \omega t| & \text{Diodos conducen} \\ (V_m \text{sen } \theta) \cdot e^{-\frac{(\omega t - \theta)}{\omega RC}} & \text{Diodos al corte} \end{cases} \quad (3.1)$$

El valor medio de la tensión de la carga es:

$$V_{cd} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V_m \text{sen } \omega t dt = \frac{2V_m}{\pi} \quad (3.2)$$

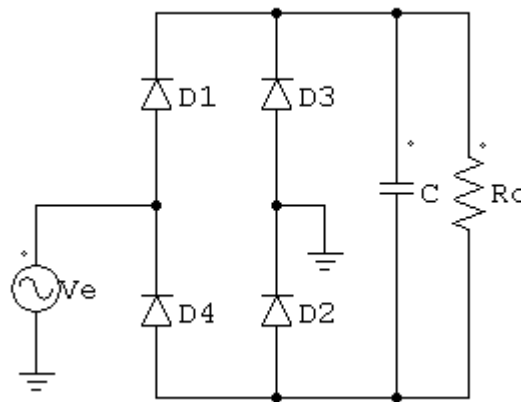


Fig. 3.5 Rectificador de onda completa con filtro capacitivo

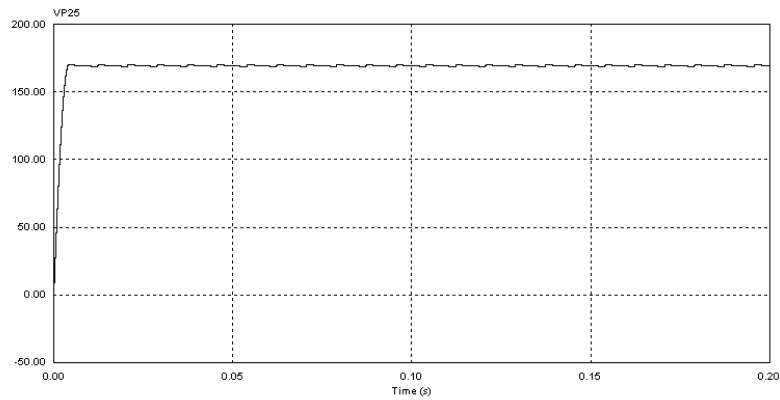


Fig. 3.6 Voltaje de Salida con capacitor de salida

Como se observa en la Figura 3.7 no es suficiente poner un capacitor de salida al rectificar la señal debido a que la corriente sigue distorsionada y afecta al FP. Es por eso que necesitamos una etapa que regule nuestro voltaje y corrija el factor de potencia. Esta etapa estará conformada por un convertidor CD-CD, éstos se mencionarán en la siguiente sección.

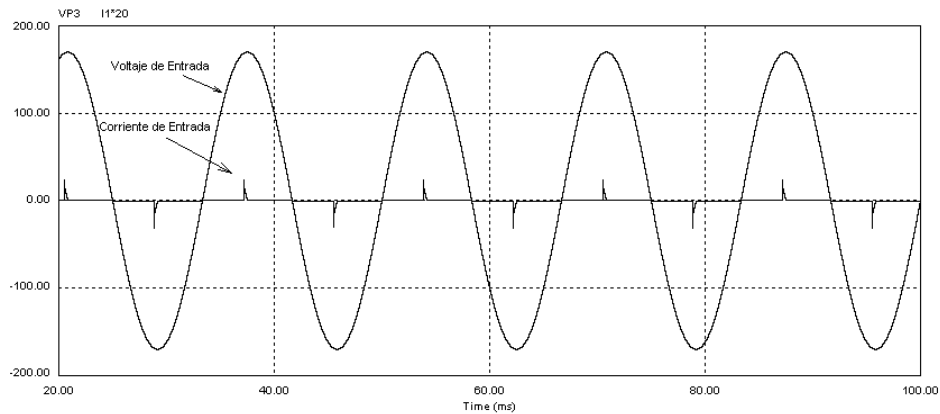


Fig. 3.7 Voltaje y corriente de entrada

3.3 Convertidores CD-CD

Son circuitos que convierten una tensión de directa en otra continua proporcionando una salida regulada. En otros casos se usan como fuentes reductoras o elevadoras de voltaje. Entre los que destacan se encuentran los siguientes convertidores:

- Reductor: para este convertidor el voltaje de entrada siempre será mayor al de salida
- Figura 3.8. Tiene dos modos de funcionamiento: interruptor cerrado y abierto. Si el interruptor está cerrado, el diodo D se polariza en inversa y fluye una corriente de entrada a través del inductor, el capacitor y la resistencia de carga. Cuando el interruptor se abre el diodo se polarice en directa y deja pasar la corriente del inductor, el cual se descargará en el capacitor y la resistencia de carga [12,13]. Las formas de onda del inductor en modo continuo se muestran en la Figura 3.9.

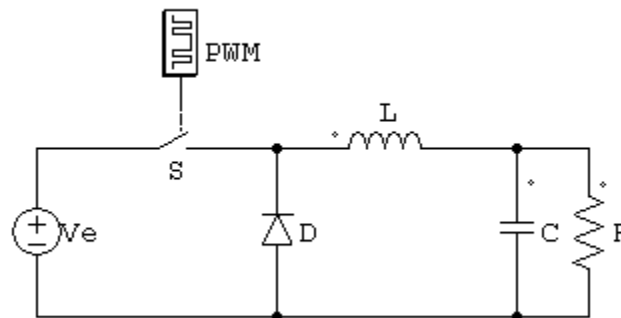
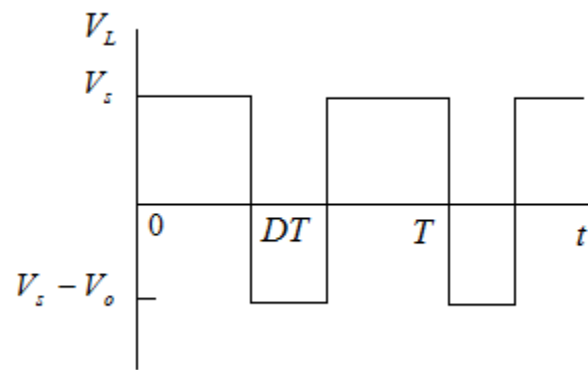
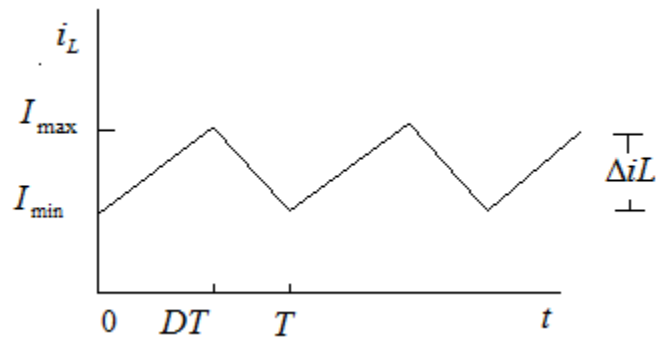


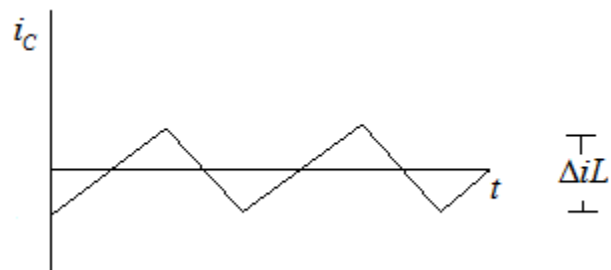
Fig. 3.8 Convertidor CD-CD Reductor [12]



a)



b)



c)

3.9 Convertidor Reductor. a) Voltaje en inductor. b) Corriente en inductor. c) Corriente en capacitor [12].

La desventaja que presenta esta topología es el aumento de las pérdidas de potencia en los interruptores para altas frecuencias, de manera que la eficiencia también se verá afectada.

- Elevador: este convertidor hace que el voltaje de salida sea mayor al de entrada Figura 3.10. También presenta dos modos de operación, cuando el interruptor se cierra y cuando se abre. Si el interruptor se cierra el diodo está polarizado en inversa y la corriente en L aumenta en forma lineal; al momento que se abre el interruptor la corriente en la bobina no puede variar de forma instantánea, así que el diodo se polariza en directa para que fluya la corriente del inductor hacia el capacitor y la carga Figura 3.11 [11,12].

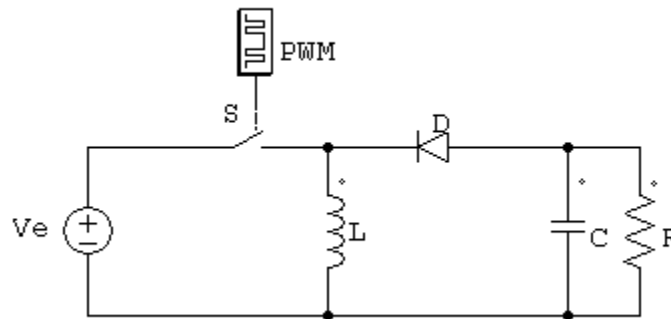
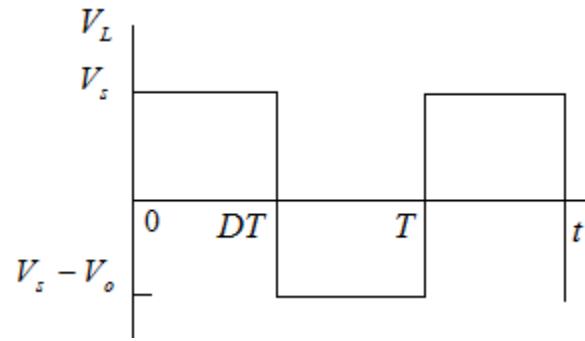
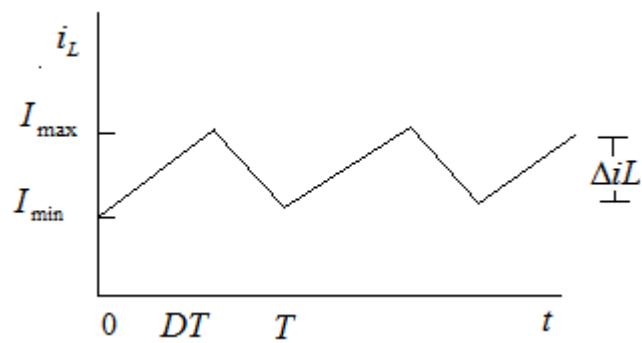


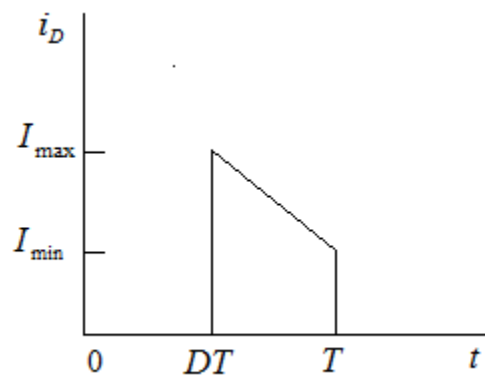
Fig. 3.10 Convertidor CD-CD Elevador



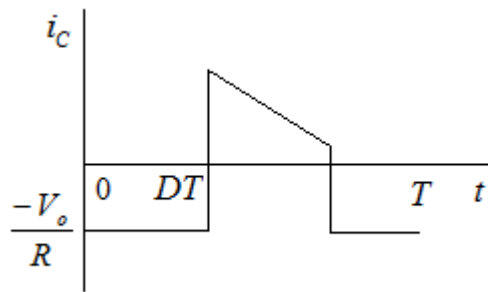
a)



b)



c)



d)

3.11 Convertidor Elevador. a) Voltaje en inductor. b) Corriente en inductor. c) Corriente en diodo. d) Corriente en capacitor [16]

- Reductor-Elevador: tiene dos modos de operación, si el interruptor se cierra el diodo D se polariza en inversa para que exista una corriente que crece de manera lineal a través del inductor L . Cuando el interruptor se abre el diodo se polariza en directa para que fluya la corriente por el capacitor hacia la carga Figura 3.12. En la Figura 3.13 se observan algunas formas de onda principales de los elementos que componen al reductor-elevador.

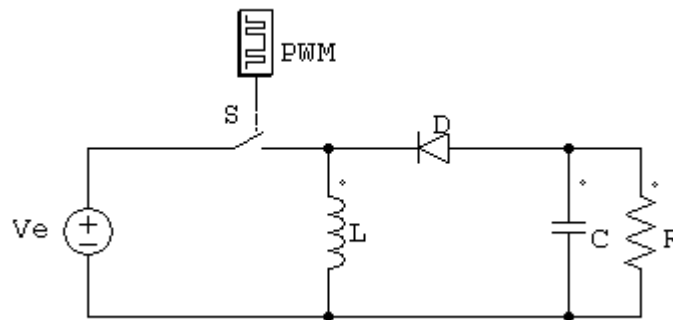
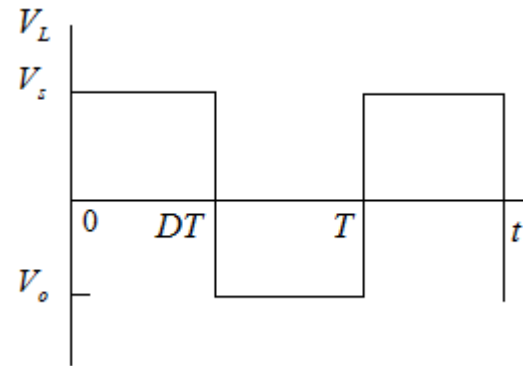
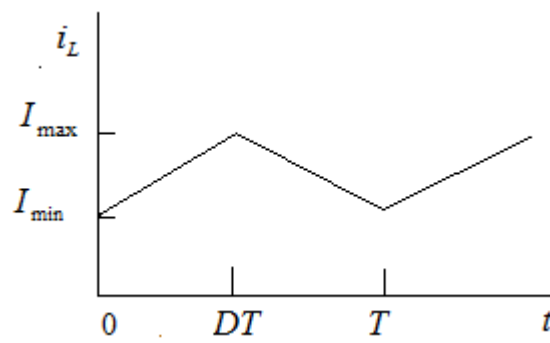


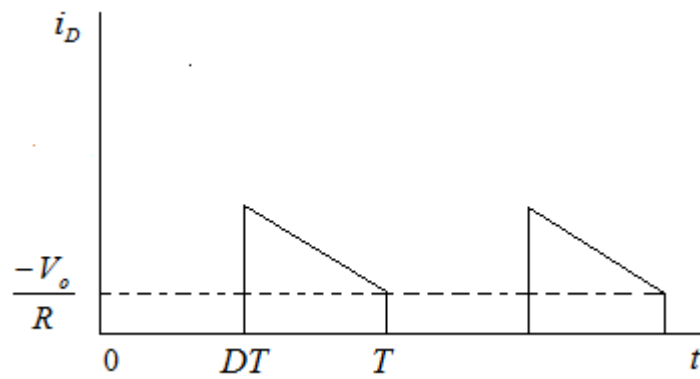
Fig. 3.12 Convertidor CD-CD Reductor-Elevador



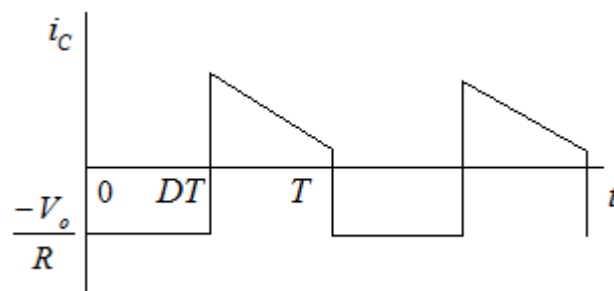
a)



b)



c)



d)

3.13 Convertidor Reductor-Elevador. a) Voltaje en inductor. b) corriente en inductor. c) corriente en diodo. d) corriente en capacitor [16]

- Cúk: similar al funcionamiento del reductor-elevador el Cúk Figura 3.14, provee un voltaje regulado con polaridad negativa respecto a la terminal común del voltaje de entrada. Este convertidor también entrega un voltaje mayor o menor que el de entrada. Cuando el transistor está cerrado se carga el inductor L_1 , a su vez la corriente en el capacitor C_1 es inversa a la del inductor L_2 y el diodo D está polarizado en inversa. Cuando se abre el interruptor las corrientes en ambos inductores hacen que el diodo conduzca formando así dos mallas entre los elementos Figura 3.15.

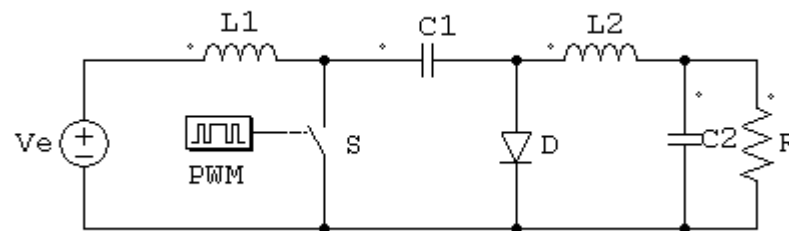
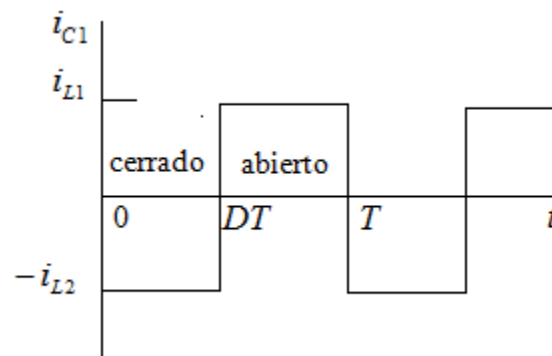


Fig. 3.14 Convertidor Cúk



3.15 Corriente en inductores en el convertidor Cúk [16]

3.4 Convertidor CA-CD Regulado

Se han analizado los convertidores básicos y la combinación de éstos en la sección anterior y todo esto con el fin de observar los modos de operación para cada uno de ellos. De los convertidores antes mencionados se elige al reductor-elevador para formar la etapa que entregue un voltaje regulado, y con esto que se incremente el factor de potencia. El convertidor reductor-elevador muestra una ganancia más cercana a uno para un ciclo de trabajo del 50%. En la figura 3.16 se observa as gráfica de ganancia contra ciclo de trabajo de los principales convertidores.

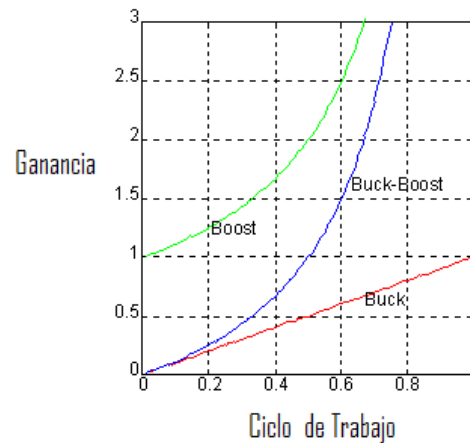


Fig. 3.16 Ganancia vs Ciclo de Trabajo

La suma del reductor elevador y el puente rectificador de onda completa dará como resultado el siguiente circuito:

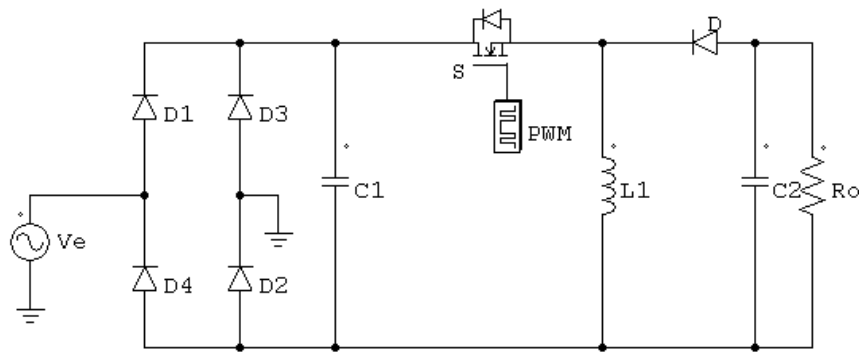


Fig. 3.17 Unión del puente rectificador y el convertidor CD-CD

Con esto se pretende elevar el FP y tener un mejor ángulo de fase entre el voltaje y la corriente, no obstante sigue sin ser suficiente, ya que aún sigue estando bajo el factor de potencia y la eficiencia de esta configuración. La figura 3.18, muestra una mejoría en el factor de potencia cuando se conmuta la corriente de fuente. Sin embargo, se debe mejorar con la búsqueda de una configuración que entregue un mejor ángulo de fase para ambas variables eléctricas.

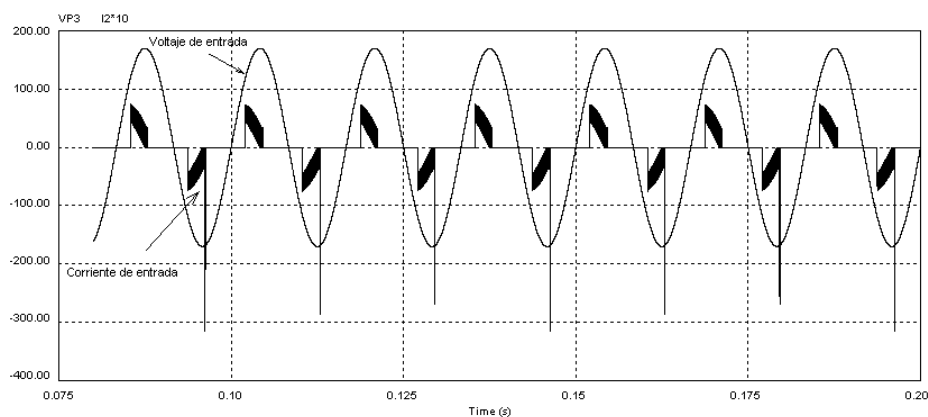


Fig. 3.18 Voltaje y Corriente al sumarle el Convertidor CD-CD

3.5 Convertidores CD-CD en configuración Modular

Entre los convertidores de energía se puede establecer una arquitectura modular para la conversión de un nivel de energía. Gracias a su estructura dinámica, este tipo de fuentes conmutadas permite la reconfiguración de los parámetros de salida y una agradable estandarización para los componentes que conforman a cada módulo. Al conjunto de elementos de control y de potencia de los que consta el convertidor le denominaremos módulo. Existen cuatro combinaciones para compartir la fuente de CA en la entrada y suplir la corriente de carga de una manera equilibrada. Estos módulos se pueden conectar entre la entrada y a la salida como se enlista a continuación [1]:

- Entrada en Paralelo y Salida en Serie

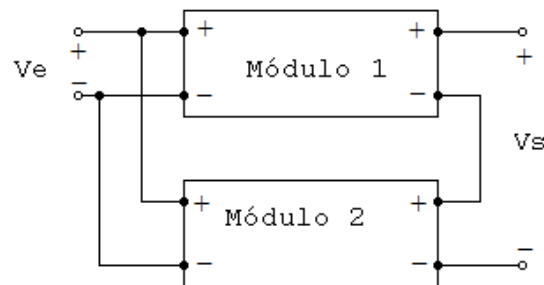


Fig. 3.19 Entrada en Paralelo y Salida en Serie

- Entrada en Serie y Salida en Paralelo

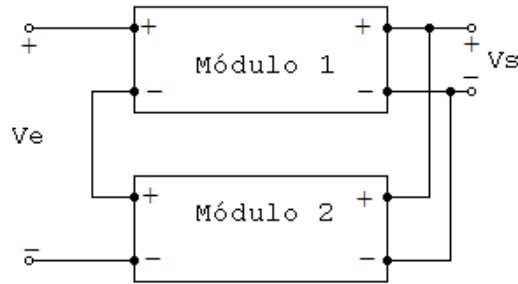


Fig. 3.20 Entrada en Serie y Salida en Paralelo

- Entrada en Serie y Salida en Serie

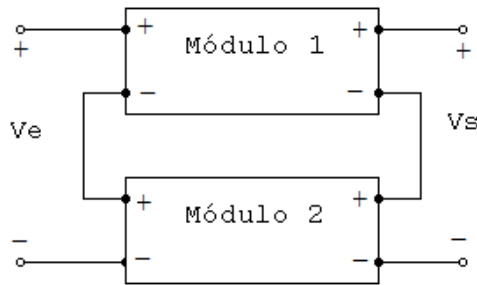


Fig. 3.21 Entrada en Serie y Salida en Serie

- Entrada en Paralelo y Salida en Paralelo

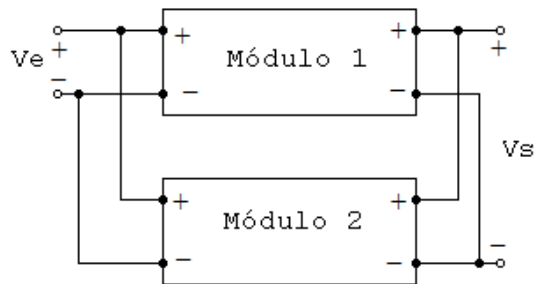


Fig. 3.22 Entrada en Paralelo y Salida en Paralelo

3.5.1 Conexión serie a la entrada entre convertidores

Si se trabaja con esta opción no resultaría en un sistema completo modular para cualquiera de ambos casos en la salida: serie y paralelo [1]. Esto es debido a la cantidad de fuentes posibles a la entrada como por ejemplo un voltaje rectificado, una batería entre otros. De aquí que es necesario diseñar convertidores que se puedan conectar en serie a la entrada con una capacidad dinámica para compartir el voltaje de fuente.

Aparte de ser modular, esta conexión tiene algunas otras ventajas como por ejemplo el uso de transistores MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors), lo cual se traducirá en eficiencia para el sistema. La conexión de entrada en serie y salida en paralelo lleva a conversiones más pequeñas para cada convertidor, en aplicaciones de bajo voltaje.

3.5.2 Conexión paralela a la entrada entre convertidores

En esta combinación se comparte el voltaje de entrada para los convertidores mientras que se divide la corriente para cada módulo. La configuración Paralela a la Entrada-Serie a la Salida, se usa en los convertidores de CD-CD con controles de voltaje de salida independientes. Para aplicaciones que demanden altos voltajes a la salida, esta topología puede ser adecuada puesto que se divide el voltaje de salida para cada módulo. Para que este sistema obtenga otras ventajas además de la modularidad, podría implementarse un bus en la etapa de salida. Existen esquemas que realizan etapas de lazos a la salida en [2].

Por otra parte la conexión Paralela a la Entrada-Paralela a la Salida ha sido investigada en usos recientes que requieren bajos voltajes y altas corrientes de salida ya que la corriente se distribuye en cada convertidor [1]. Para esta técnica se tiene una corriente de carga compartida por cada uno de los convertidores modulares y pequeñas diferencias entre la etapa de potencia y los parámetros de control para cada convertidor; las diferencias son finitas en la impedancia interconectada. Existen algunas técnicas de control para esta conexión en [3] que aseguran un esquema para compartir la corriente entre los convertidores en paralelo. Para la topología que se propone se estudia la interconexión Paralela a la Entrada-Paralela a la Salida entre los módulos, y se hace el análisis correspondiente.

3.5.3 Convertidores CD-CD en configuración Modular

Debido a que se requiere un sistema modular de potencia es necesario conseguir que la eficiencia mejore. Con la etapa modular, se alcanza a notar que al tener un segundo convertidor conectado en paralelo tanto en la entrada como en la salida existe una mayor demanda de corriente hacia la fuente, entonces esto ayudará a mantener el voltaje constante cuando la carga requiera de mayor potencia. La conexión modular se muestra en la figura 3.23 mientras que el voltaje y la corriente de entrada se observan en la figura 3.24.

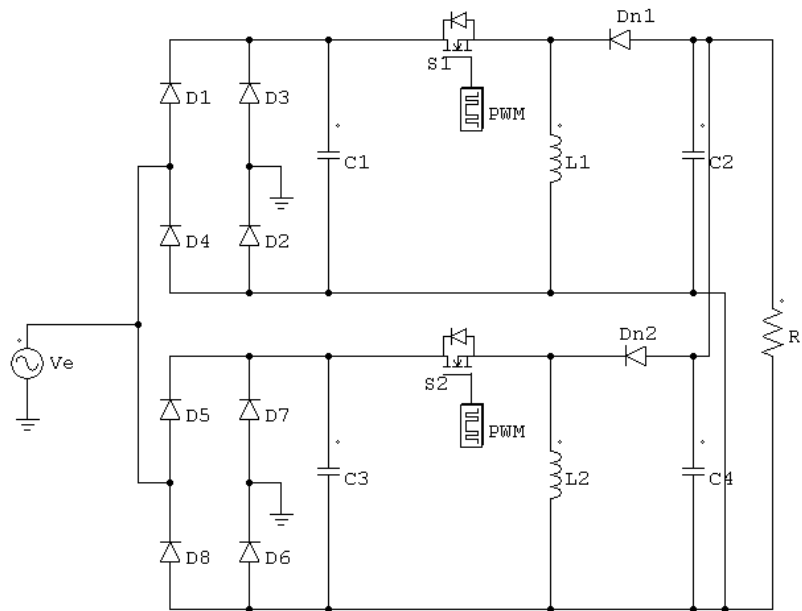


Fig. 3.23 Conexión Modular con voltaje regulado

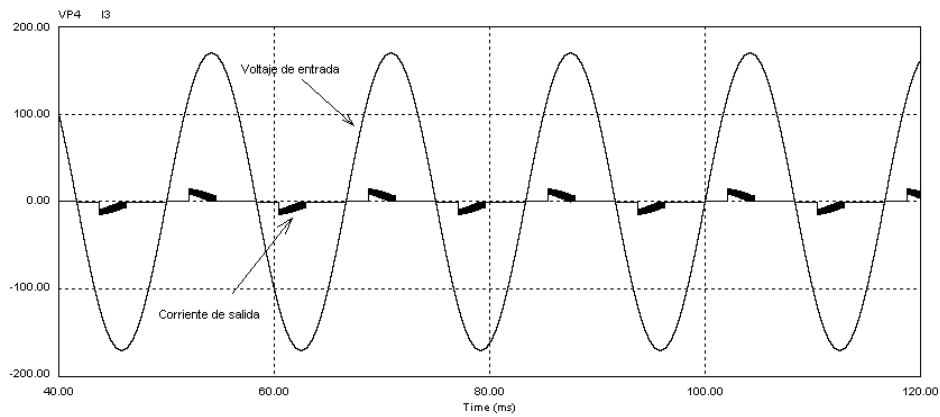


Fig. 3.24 Voltaje y Corriente de entrada para la conexión modular

3.6 Conclusiones

En el presente capítulo se estudiaron las configuraciones básicas de algunos de los rectificadores CA-CD, los convertidores CD-CD y las configuraciones de una fuente

modular. Con esto se ha podido comprobar que no es suficiente tener una topología rectificadora mediante el uso de diodos. Si bien el factor de potencia se corrige en un porcentaje al sumarle la etapa del convertidor CD-CD no logra ser considerablemente bueno para los objetivos del proyecto. Se eligió la topología reductora-elevadora para cada módulo de potencia por sus ventajas al entregar un voltaje regulado a la salida si se usa como fuente conmutada de potencia. Por último se muestra que la configuración en paralelo de ambos convertidores mantiene un voltaje a la salida constante. En el siguiente capítulo se mostrará el análisis para la etapa que conforma el puente de diodos y el convertidor regulado para cada uno de los módulos.