

CAPITULO 2

INVERSOR ELEVADOR MONO - ETAPA

2.1 Introducción

Un inversor elevador mono – etapa es una topología derivada de dos convertidores CD – CD elevadores bidireccionales en corriente [2] [8] [10]. El principal atributo de esta topología es generar un voltaje de salida de CA mayor que el voltaje de CD de entrada, dependiendo del valor instantáneo del ciclo de trabajo [1] [2] [3] [4]. Esta propiedad no se encuentra en los inversores tradicionales, los cuales producen un voltaje de salida siempre menor al voltaje de entrada.

El inversor es controlado mediante Modulación de Ancho de Pulso Senoidal (SPWM por sus siglas en inglés). Este inversor se puede utilizar en sistemas de alimentación ininterrumpibles (SAI o UPS por sus siglas en inglés) o en cualquier aplicación donde sea necesario un voltaje de CA mayor que el voltaje de CD de entrada [1] [2] [10].

2.2 Estructura del Inversor Elevador

La topología del inversor elevador se obtiene de la siguiente manera: en el primer paso el convertidor elevador unidireccional en corriente (ver figura 2.1a) [36] [37] [38] se configura como un convertidor bidireccional en corriente (ver figura 2.1b); por último se colocan dos convertidores en paralelo, utilizando una sola fuente de alimentación (ver figura 2.2) [2] [8] [10].

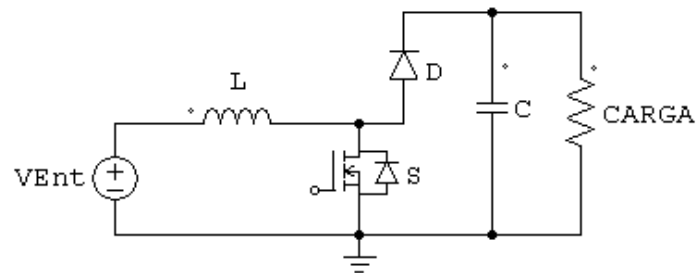


Figura 2.1a. Convertidor CD – CD Elevador unidireccional en corriente.

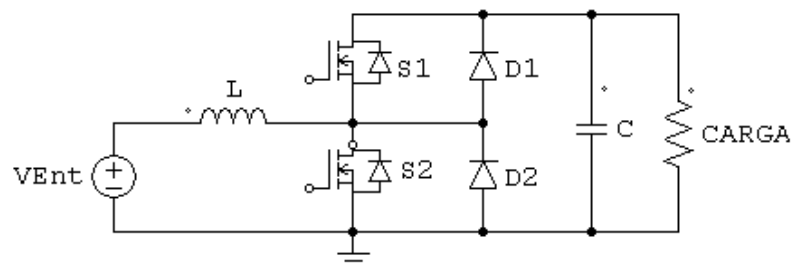


Figura 2.1b. Convertidor CD – CD Elevador bidireccional en corriente.

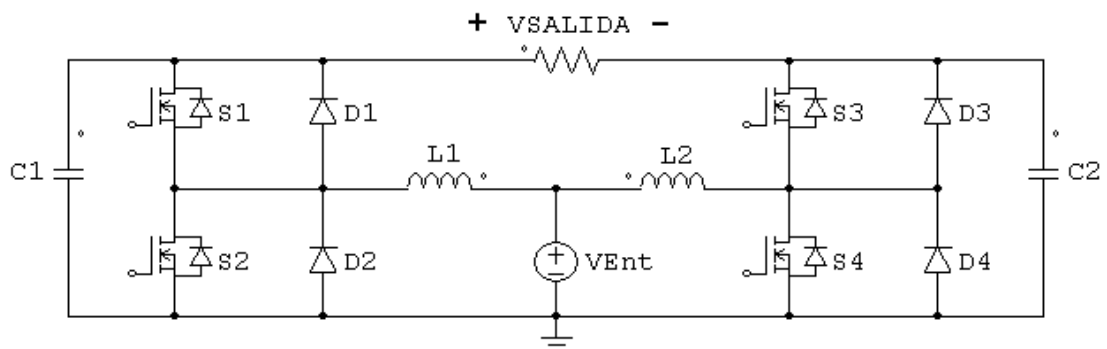


Figura 2.2. Inversor elevador Mono – Etapa.

2.3 Operación Del Inversor

Como ya se ha mencionado, el inversor propuesto tiene la capacidad de proporcionar un voltaje de salida mayor que el de entrada, además de realizar la conversión CD – CA, ambas funciones se realizan en una sola etapa. La capacidad de elevación está limitada por la existencia de elementos parásitos, los cuales son inherentes de los dispositivos que conforman el circuito [2] [4] [7].

Esta topología logra la conversión CD – CA de la manera siguiente: se utiliza Modulación por Ancho de Pulso Senoidal (SPWM) para generar las señales de disparo de interruptores. Las señales senoidales de referencia de cada modulador SPWM, necesarias para generar los pulsos PWM para el disparo de interruptores, tienen una diferencia de fase de 180°. Esto implica que el ciclo de trabajo es modulado senoidalmente, trayendo como consecuencia que cada convertidor elevador produzca un voltaje de salida senoidal, con una componente de CD (voltaje unipolar). Dado que la carga esta conectada en forma diferencial, el voltaje de CD en la carga es cero.

Bajo estas condiciones, se tiene que la topología puede trabajar en dos modos de funcionamiento [3] [4] [5] [6] [7]:

- ❖ **Modo I.-** En este modo de funcionamiento la señal de control es la misma para cada par de interruptores, esto implica que el voltaje de salida de cada convertidor será el mismo.

- ❖ **Modo II.-** En este modo se utilizan dos señales de control diferentes, una para cada convertidor. Con esto se puede lograr que cada convertidor genere un voltaje de salida de diferente magnitud.

En el desarrollo de esta tesis se utilizó el **Modo I** de funcionamiento, el cual se explica en la siguiente sección.

2.3.1 Modo I De Funcionamiento

En este modo de funcionamiento la señal de control es la misma para cada par de interruptores (S_1, S_2) y (S_3, S_4). El análisis del inversor se realiza obteniendo el voltaje de salida de cada convertidor. De la figura 2.5, el convertidor 1 tiene un ciclo de trabajo D , mientras que el convertidor 2 utiliza un ciclo de trabajo $D' = 1 - D$, debido a que se encuentran 180° fuera de fase [1] [3] [4] [5] [6] [7].

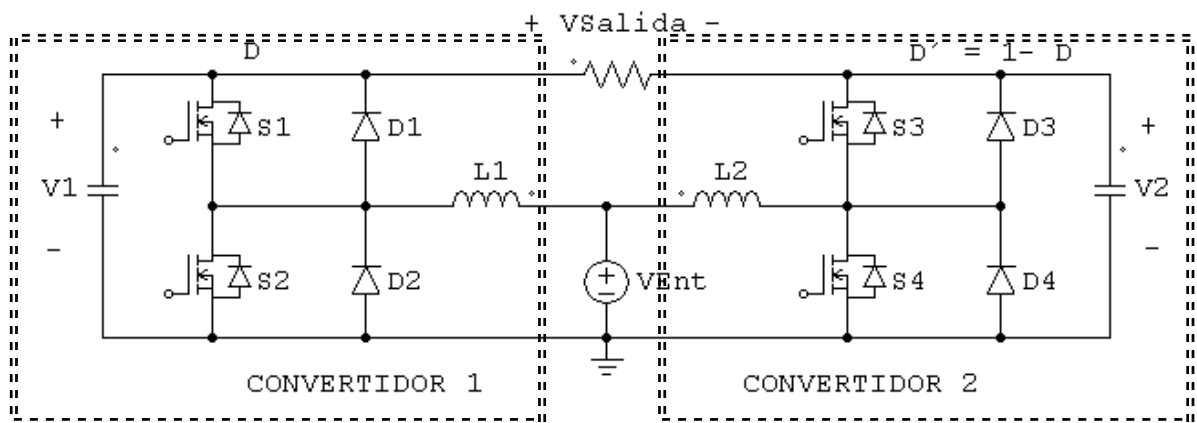


Figura 2.5. Inversor elevador bajo Modo I de operación [1] [7].

Para obtener la función de ganancia, de este inversor, se toma como base la función de ganancia del convertidor elevador dada por la ecuación (2.1) [2] [3] [7]:

$$V_{salida} = \frac{1}{1-D} \bullet V_{ent} \quad (2.1)$$

En la figura 2.5 se observa que el voltaje aplicado a la carga es la diferencia de los voltajes de salida de cada convertidor elevador, por lo tanto se tiene [2] [3] [7] [9]:

$$V_{salida} = V_1 - V_2 = \frac{1}{1-D} \bullet V_{ent} - \frac{1}{D} \bullet V_{ent} \quad (2.2)$$

$$\frac{V_{salida}}{V_{ent}} = \frac{2D-1}{D(1-D)} \quad (2.3)$$

La ecuación (2.3) es la función de transferencia del inversor elevador. Dicha ecuación proporciona información relevante del comportamiento del inversor. Si se obtiene la gráfica de la función de transferencia, ver figura 2.6, podemos observar que el inversor tiene un comportamiento no lineal y que se pueden lograr ganancias de voltaje superiores a la unidad. Además, nos muestra que el inversor tiene un voltaje de salida de 0 Voltios con un ciclo de trabajo $D = 0.5$.

En la figura 2.6 se muestra la gráfica de la función de transferencia del inversor elevador, así como la gráfica de la función de transferencia de cada uno de los convertidores CD – CD elevadores. Se puede comparar la figura 2.6 con la función de transferencia de un inversor Reductor, mostrada en la figura 2.7, la cual está en función del ciclo de trabajo D [7]. La gráfica muestra que la ganancia del inversor oscila entre un valor

máximo de 0.8 y uno mínimo de -0.8, lo cual significa que este convertidor solo puede realizar la función de invertir un voltaje de entrada.

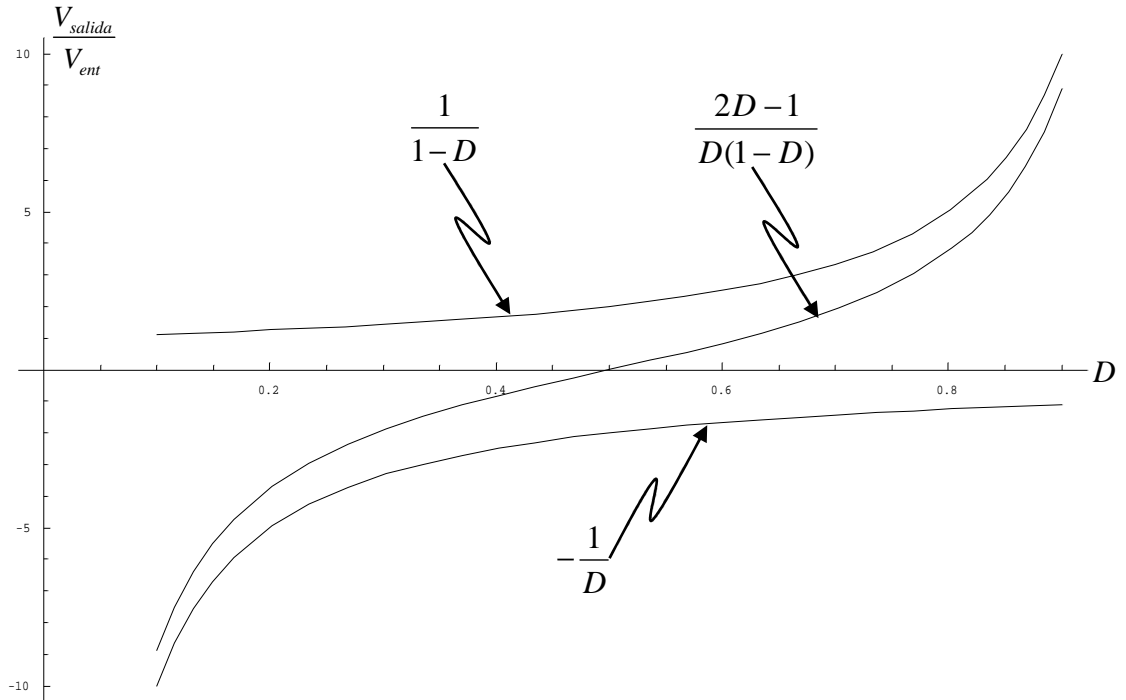


Figura 2.6. Función de transferencia del inversor elevador (Modo I) y de cada uno de los convertidores CD – CD elevadores.

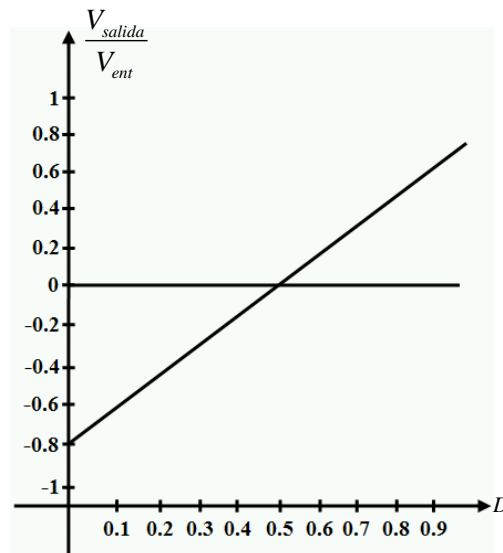


Figura 2.7. Función de transferencia de un inversor puente completo [7].

Si bien es cierto que el inversor tiene un comportamiento no lineal, se puede lograr un adecuado funcionamiento de esta topología mientras se trabaje en la región cercana a $D = 0.5$ (ver figura 2.8). Con lo cual se logra una capacidad de elevación simétrica; de esta manera, el convertidor puede ser considerado como un sistema lineal [2] [3] [7] [9].

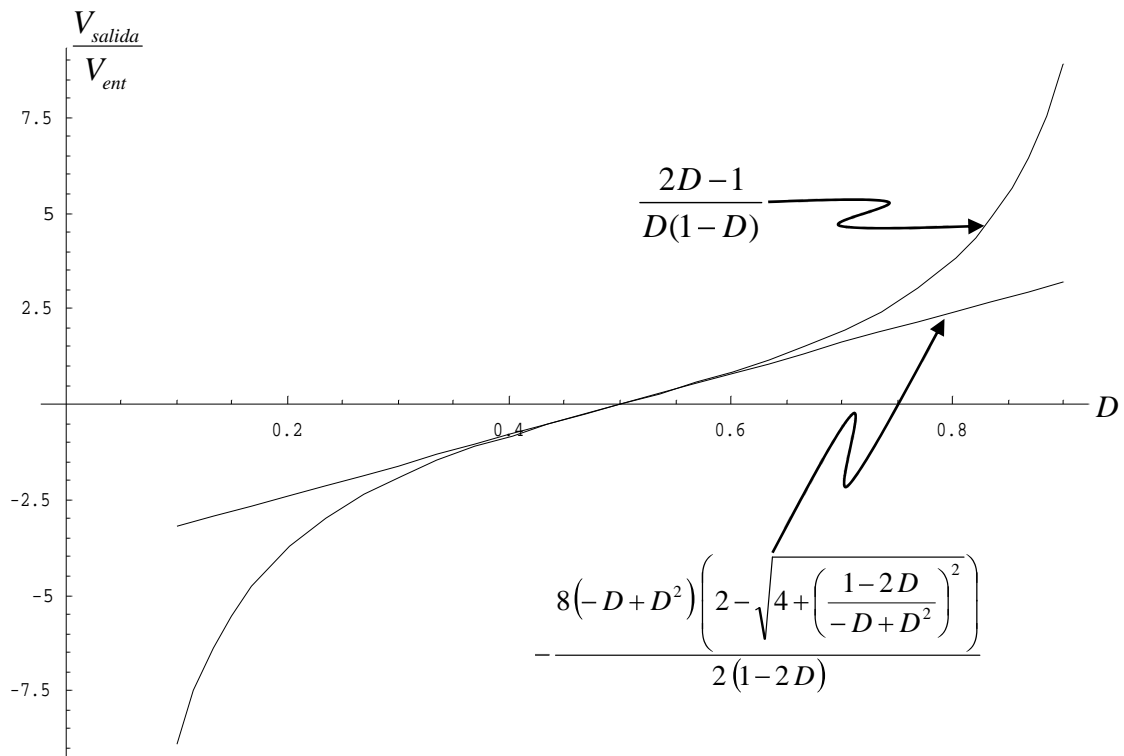


Figura 2.8. Se logra un comportamiento lineal del inversor teniendo pequeñas variaciones de D , alrededor del valor de 0.5.

Una vez obtenida la función de transferencia es necesario obtener una expresión que defina el ciclo de trabajo necesario para lograr un voltaje de salida senoidal, cuyo valor cuadrático medio (RMS) sea mayor que el voltaje CD de entrada. Al despejar el ciclo de trabajo D de la ecuación (2.3) se obtiene la ecuación 2.4:

$$D = \frac{1}{2} - \frac{2 \pm \sqrt{4 + \left(\frac{V_{salida}}{V_{ent}}\right)^2}}{2 \left(\frac{V_{salida}}{V_{ent}}\right)} \quad (2.4)$$

Para obtener valores válidos de ciclo de trabajo (D), de la ecuación (2.4) se elige la raíz cuadrada con signo negativo, ya que no existen ciclos de trabajo negativos [3] [7] [9].

Necesitamos conocer el ciclo de trabajo máximo que se alcanzará, lo anterior se logra sustituyendo el valor pico del voltaje de salida ($V_{salida-pico}$) en la ecuación (2.4). Esto se debe a que se requiere un voltaje de salida senoidal, ver ecuación (2.6), cuando se alcance el valor pico del voltaje de salida el ciclo de trabajo D alcanzará su valor máximo.

$$D_{Máximo} = \frac{1}{2} - \frac{2 - \sqrt{4 + \left(\frac{V_{salida-pico}}{V_{ent}}\right)^2}}{2 \left(\frac{V_{salida-pico}}{V_{ent}}\right)} \quad (2.5)$$

$$V_{salida} = V_{salida-pico} \text{ sen } (\omega t) \quad (2.6)$$

Una vez obtenido el ciclo de trabajo máximo, podemos establecer una ecuación de ciclo de trabajo que sea válida para la región lineal mostrada en la figura 2.8. Al realizar una linealización de la ecuación (2.4), alrededor del valor $D = 0.5$, se obtiene la ecuación

(2.7) [3] [7] [9]. Dicha ecuación es el ciclo de trabajo modulado de manera senoidal, con pequeñas variaciones alrededor del valor $D = 0.5$.

$$D = \frac{1}{2} + \left(D_{Máximo} - \frac{1}{2} \right) \text{sen}(\omega t) \quad (2.7)$$

Si se realiza una linealización del ciclo de trabajo, alrededor de $V_{salida} / V_{entrada} = 0$ (ver figura 2.9), se obtiene una ecuación equivalente de ciclo de trabajo válida dentro de la región lineal, ver ecuación (2.8).

$$D = \frac{1}{2} + \frac{V_{salida-pico}}{8 V_{ent}} \text{sen}(\omega t) \quad (2.8)$$

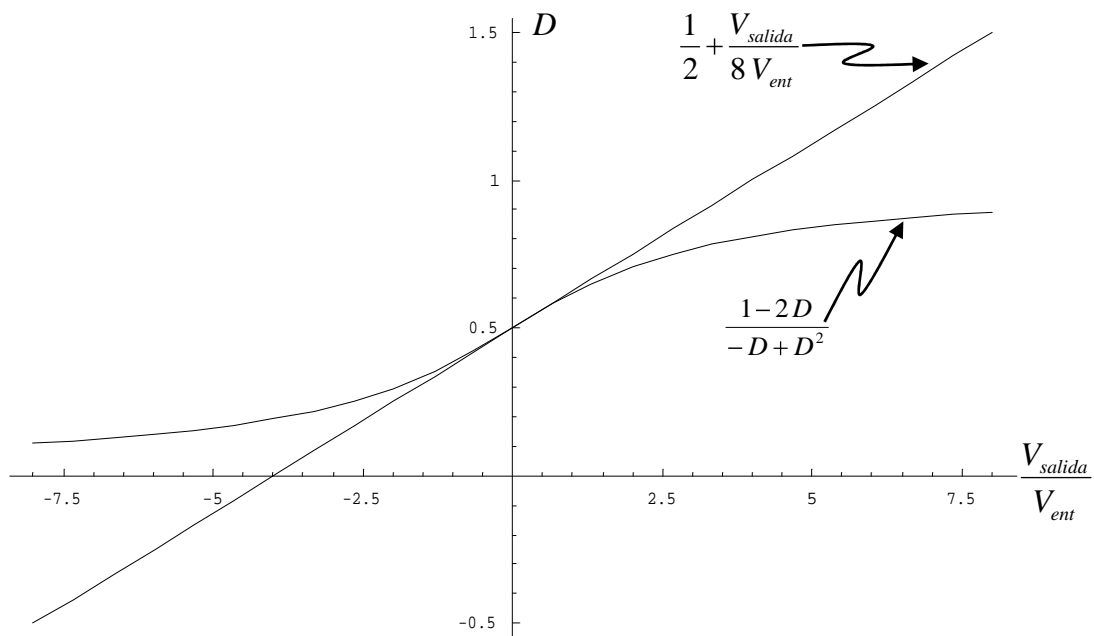


Figura 2.9. El sistema también se puede considerar lineal alrededor de $V_{salida}/V_{ent} = 0$.

2.4 Diseño Del Inversor

Hasta ahora hemos obtenido la función de transferencia y el ciclo de trabajo necesario para un correcto funcionamiento de la topología inversora. Un parámetro necesario para el diseño del inversor, es la corriente promedio en la bobina de entrada. Para obtenerla debemos considerar una variante de la función de ganancia del convertidor elevador, mostrada en la ecuación (2.12) [3] [7] [9].

Considerando que la potencia de entrada es igual a la potencia de salida tenemos:

$$P_{ent} = P_{salida} \quad (2.9)$$

$$V_{ent} I_{ent} = V_{salida} I_{salida} \quad (2.10)$$

$$\frac{I_{salida}}{I_{ent}} = \frac{V_{ent}}{V_{salida}} = 1 - D \quad (2.11)$$

$$\frac{I_{salida}}{I_L} = 1 - D \quad (2.12)$$

Dónde I_L es la corriente de valor promedio de la bobina. Además, por Ley de Ohm sabemos que:

$$V_{salida} = R_{carga} \bullet I_{salida} \quad (2.13)$$

Utilizando las ecuaciones (2.12) y (2.13) obtenemos la ecuación (2.14), con la cual se obtiene el valor medio de la corriente en la bobina de entrada:

$$I_L = \frac{2(D-1)}{D(1-D)^2} \cdot \frac{V_{ent}}{R_{carga}} \quad (2.14)$$

Con el fin de determinar el valor pico de la corriente de la bobina se sustituye, en la ecuación (2.14), el valor máximo del ciclo de trabajo $D_{Máximo}$ resultando:

$$I_{LPico} = \frac{2(D_{Máximo} - 1)}{D_{Máximo} (1 - D_{Máximo})^2} \cdot \frac{V_{ent}}{R_{carga}} \quad (2.15)$$

La corriente en la bobina, descrita por la ecuación (2.14), se muestra en la figura (2.10).

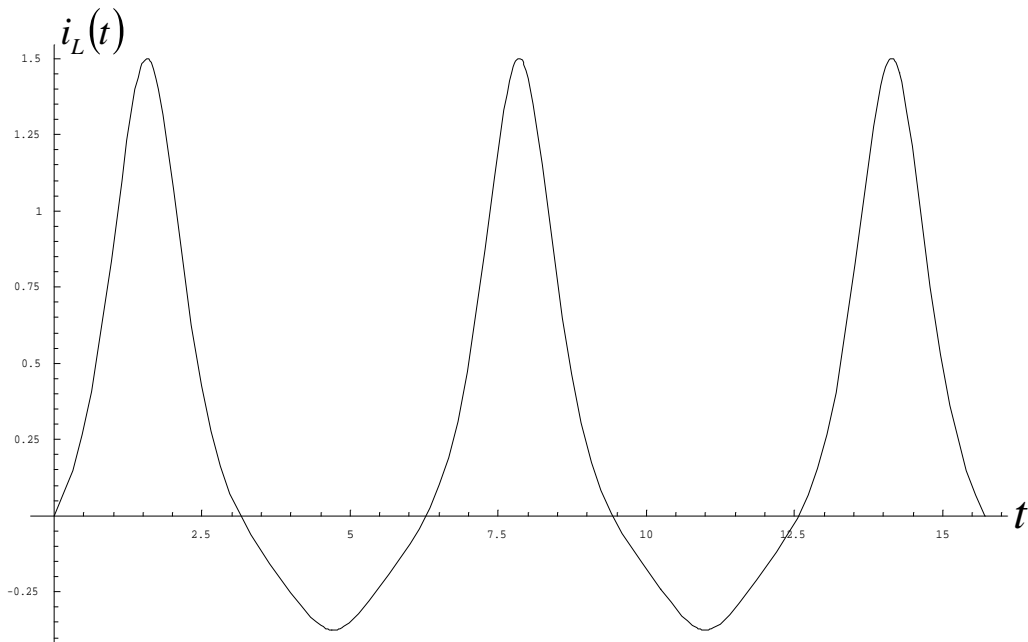


Figura 2.10. Forma de onda teórica de la corriente en el inductor.

El voltaje pico que se alcanza en el capacitor de filtrado, se puede determinar mediante la ecuación (2.16). Debe utilizarse el valor máximo del ciclo de trabajo $D_{\text{Máximo}}$ y la ecuación (2.1) [3] [7] [9]:

$$V_{C-pico} = \frac{1}{1 - D_{\text{Máximo}}} \cdot V_{ent} \quad (2.16)$$

El voltaje en el capacitor de salida es mostrado en la figura 2.11.

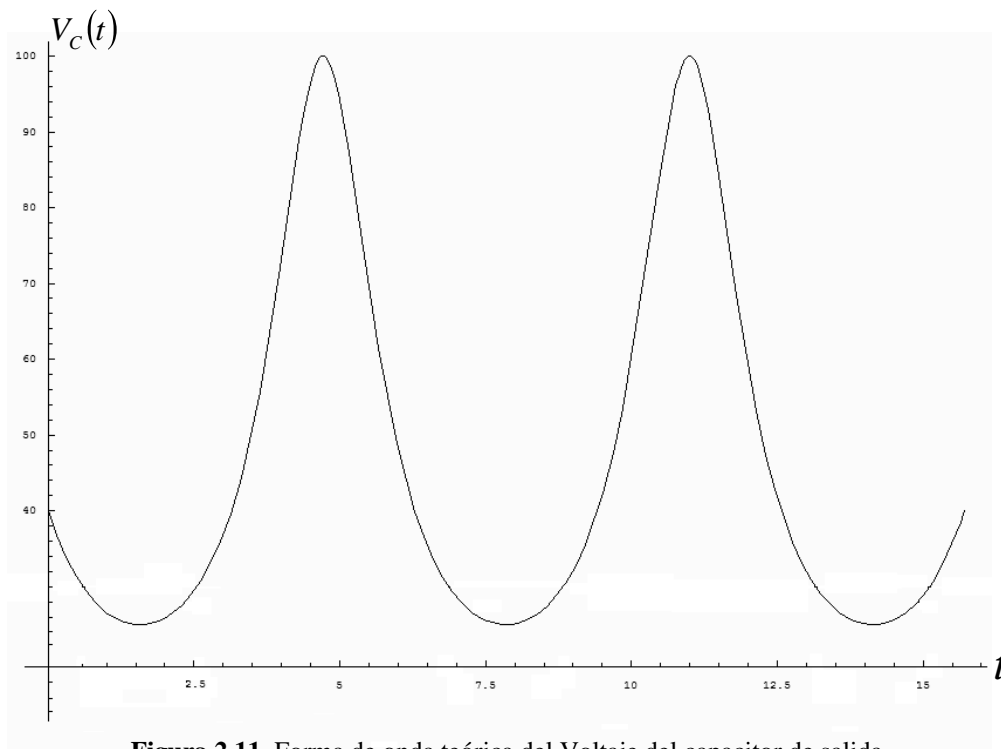


Figura 2.11. Forma de onda teórica del Voltaje del capacitor de salida.

La ecuación (2.20) describe la corriente de entrada, considerando que la potencia de entrada es igual a la potencia de salida. Esta ecuación nos dice que la corriente de entrada es una señal senoidal, con una componente de CD, con el doble de la frecuencia del voltaje

de salida. Esto es debido a que la potencia de salida es el producto de dos señales senoidales. La figura 2.12 muestra la forma de onda de la corriente de entrada.

$$P_{ent} = P_{salida} \quad (2.17)$$

$$V_{ent} I_{ent} = V_{salida} I_{salida} \quad (2.18)$$

$$V_{ent} I_{ent} = (V_{salida-pico} \text{sen}[\omega t]) \left(\frac{V_{salida-pico}}{R_{carga}} \text{sen}[\omega t] \right) \quad (2.19)$$

$$i_{ent}(\omega t) = \frac{V_{salida-pico}^2}{V_{ent} R_{carga}} \text{sen}^2(\omega t) \quad (2.20)$$

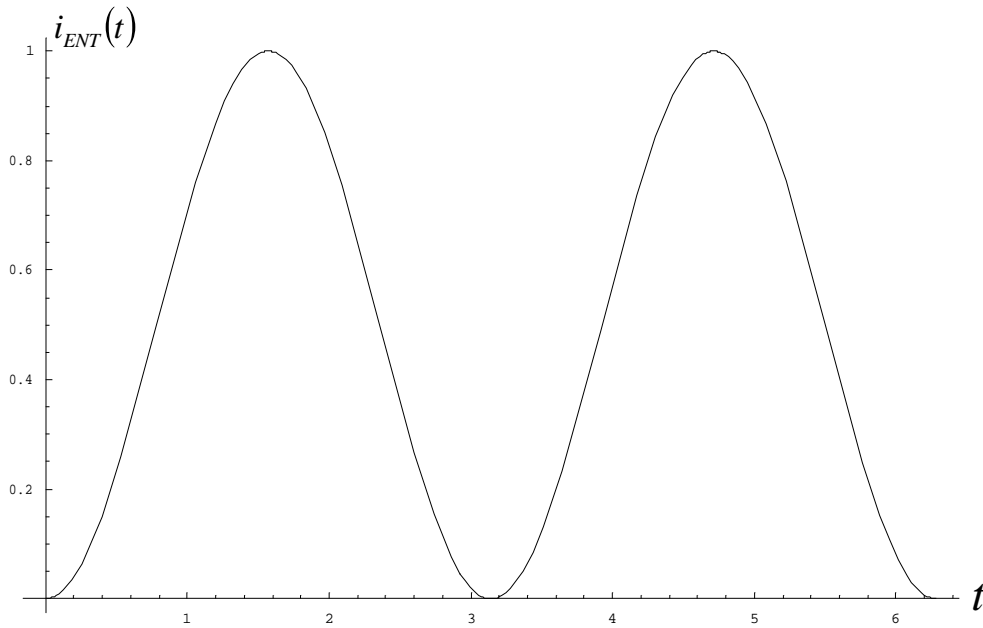


Figura 2.12. Forma de onda teórica de la corriente de entrada.

2.4.1 Diseño De La Bobina De Entrada

Para el diseño de la bobina de entrada se utiliza la ecuación que define el comportamiento del voltaje en una bobina:

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (2.21)$$

Tomando en cuenta (2.21), el valor del inductor de entrada L puede aproximarse a:

$$L \approx \frac{\Delta t}{\Delta i} V_L \quad (2.22)$$

La ecuación (2.22) es la base para determinar la expresión final que nos permita obtener el valor de la bobina de entrada. Para lograrlo se requiere analizar el comportamiento de un convertidor elevador. En la figura 2.13a, se muestra la topología básica del convertidor elevador, mientras que en la figura 2.13b, se muestra el circuito equivalente cuando el interruptor S cuando esta encendido.

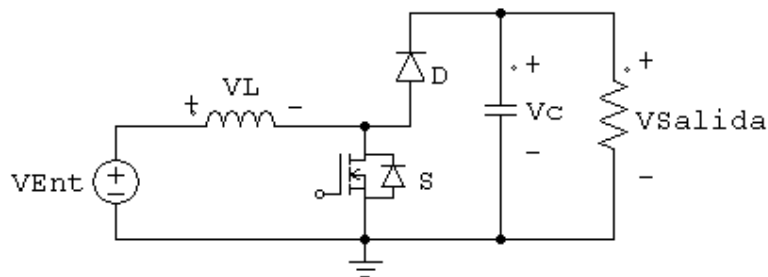


Figura 2.13a. Convertidor CD – CD elevador, topología básica.

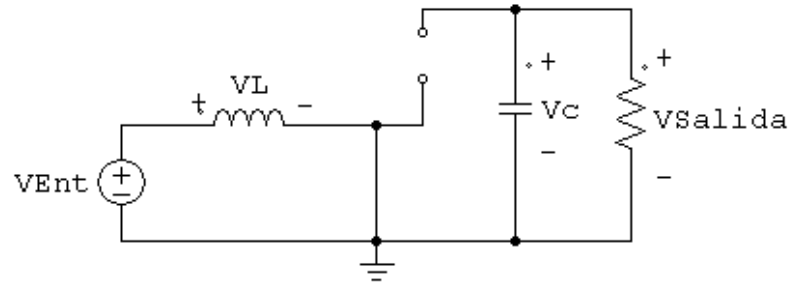


Figura 2.13b. Convertidor CD – CD elevador, interruptor S encendido y diodo D polarizado inversamente.

Mediante Ley de Voltajes de Kirchoff se tiene:

$$V_L = V_{ent} \quad (2.23)$$

Dado que se trabaja a una frecuencia constante, el tiempo de encendido es:

$$t_{on} = D_{Max} \bullet T_S \quad \therefore \quad (2.24)$$

$$t_{on} = \frac{D_{Max}}{f_S} = \Delta t \quad (2.25)$$

Donde:

D_{Max} = Ciclo de trabajo Máximo.

f_S = Frecuencia de conmutación.

El elemento que falta por definir es Δi , el cual podemos establecer como el rizo de corriente de la bobina. Para efectos del prototipo de esta tesis es del 5 %. Ya habiendo establecido cada uno de los elementos de la ecuación (2.22), la expresión para el cálculo de la bobina es:

$$L = \frac{V_{in} D_{Max}}{f_s (0.05 I_{LPico})} \quad (2.26)$$

2.4.2 Diseño Del Capacitor De Salida

De igual forma que en el diseño del inductor, para diseñar el capacitor de salida se toma como base la ecuación que define la corriente en un capacitor:

$$i_c = C \frac{dV}{dt} \quad (2.27)$$

De igual forma que con el inductor de entrada L, se puede aproximar el valor del capacitor de salida a:

$$C \approx \frac{\Delta t}{\Delta V} i_c \quad (2.28)$$

En la figura 2.17 podemos observar que la corriente que fluye a través del capacitor, cuando el interruptor S esta cerrado es la misma que la corriente de salida.

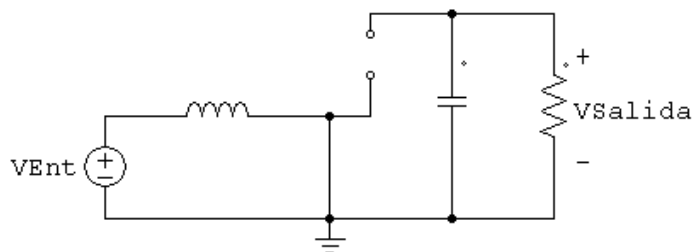


Figura 2.14. Convertidor CD – CD elevador, interruptor S encendido y diodo D polarizado inversamente, la corriente del interruptor es igual a la corriente de salida.

Con una frecuencia de conmutación constante tenemos:

$$\Delta t = t_{on} = \frac{D_{Max}}{f_s} \quad (2.29)$$

El elemento ΔV de la ecuación (2.28) podemos definirlo como el rizo del voltaje de salida en cada convertidor, para el diseño en el prototipo de esta tesis se estableció un valor de 1 %. Usando la ecuación (2.28) y (2.29) se obtiene la expresión para el cálculo del capacitor de salida:

$$C = \frac{D_{Max} I_{salida-pico}}{f_s (0.01 V_{salida})} \quad (2.30)$$

Se utiliza la corriente pico de salida dado que se toma el ciclo máximo de trabajo. El valor de dicha corriente se obtiene de:

$$P_{salida-eficaz} = \frac{V_{salida-pico} I_{salida-pico}}{2} \quad (2.31)$$

La ecuación (2.31) nos dice que la potencia eficaz es la mitad de la magnitud de la potencia pico. Usando la ecuación (2.31) tenemos:

$$I_{salida-pico} = \frac{2P_{salida-eficaz}}{V_{salida-pico}} \quad (2.32)$$

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.