

## INVERSORES RESONANTES

### 3.1 INTRODUCCIÓN

---

Los convertidores de CD a CA se conocen como inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada en CD a un voltaje simétrico de salida en CA, con la magnitud y frecuencias deseadas. Asimismo, tanto el voltaje de salida como la frecuencia pueden ser variables o fijos. En nuestro caso, para alimentar una lámpara de descarga mediante un balastro electrónico es necesario la utilización de un inversor que opere a alta frecuencia para maximizar su eficiencia luminosa. Estos inversores tienen como carga un circuito resonante que fija la corriente que circula por la lámpara, debido a ello, son llamados inversores resonantes.

El uso de los inversores es muy común en aplicaciones industriales tales como la propulsión de motores de ca de alta velocidad, la calefacción por inducción, las fuentes de respaldo y las de poder entre otras. En este capítulo se describirán 3 topologías de inversores las cuales son: inversor de medio puente, inversor de puente completo e inversor resonante clase E.

### 3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONVERTIDORES RESONANTES.

---

Los convertidores resonantes pueden ser clasificados en ocho tipos [1]:

- Inversores resonantes en serie
- Inversores resonantes en paralelo
- Inversor resonante en clase E
- Rectificador resonante en clase E
- Convertidores resonantes de conmutación a voltaje cero (ZVS)
- Convertidores resonantes de conmutación a corriente cero (ZCS)
- Convertidores resonantes de conmutación a voltaje cero en dos cuadrantes (ZVS)
- Inversores resonantes de enlace en cd.

### 3.3 INVERSOR DE MEDIO PUENTE.

---

Como se explicó anteriormente, la principal función de un inversor es producir una señal senoidal alterna en la salida con magnitud y frecuencia que pueden ser controladas. En la figura 3.1 se muestra el circuito de un inversor de medio puente. Su estructura consta de dos capacitores de igual valor conectados en serie a través de la señal de entrada CD, de tal forma que, cada capacitor se carga a la mitad del voltaje de entrada, es decir, a  $(V_s/2)$ . Es necesario tener valores altos de capacitores para poder asumir que el potencial en el punto 0 permanece esencialmente constante con respecto a la terminal N. Asimismo los transistores del inversor de medio puente tienen que soportar un voltaje de valor igual al voltaje de

entrada y el valor máximo del voltaje de la onda cuadrada de salida es igual a la mitad del voltaje de entrada. Se tiene la desventaja que uno de sus transistores no está aterrizado.

Su principio de operación es el siguiente: Cuando sólo el transistor Q1 está activo durante el tiempo  $T_o/2$ , el voltaje instantáneo a través de la carga  $V_o$  es  $V_s/2$ . Si sólo el transistor Q2 está activo durante un tiempo  $T_o/2$ , aparece el voltaje  $-V_s/2$  a través de la carga. El circuito debe diseñarse de tal suerte que, Q1 y Q2 no estén activos simultáneamente. En la figura 3.2 se muestra las formas de onda para los voltajes de salida y las corrientes de los transistores en el caso de una carga resistiva.

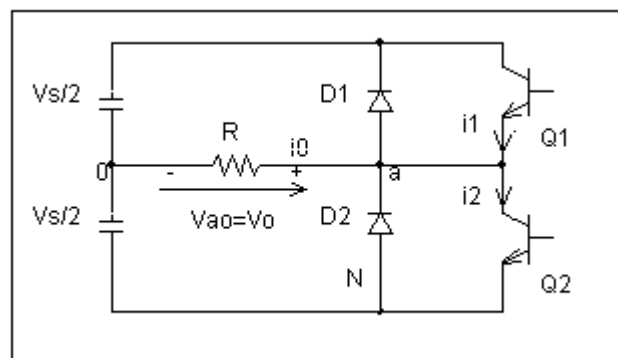


Fig. 3.1 Circuito del inversor de medio puente

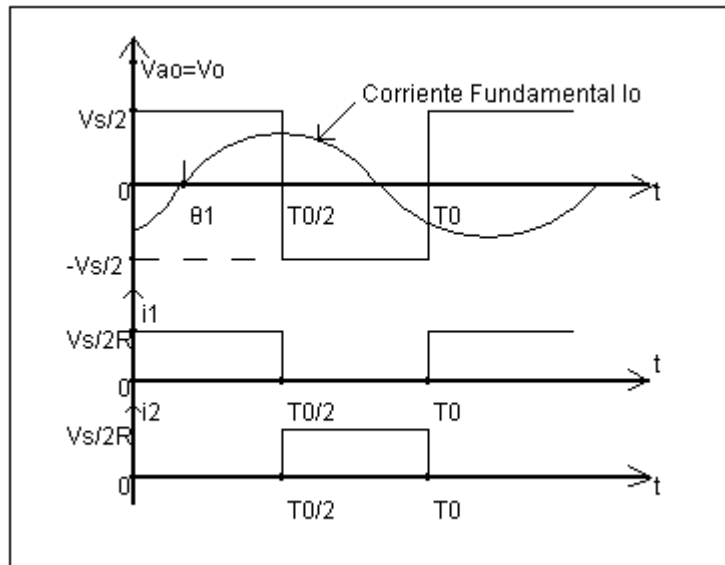


Fig. 3.2 Formas de onda con carga resistiva

El voltaje rms de salida se obtiene a partir de:

$$V_0 = \left( \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \quad (3.1)$$

Voltaje instantáneo de salida por serie de Fourier:

$$V_0 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \text{sen} \cdot n\omega t = 0 \text{ para } n = 2, 4, \dots \quad (3.2)$$

donde  $\omega = 2\pi f_0$  es la frecuencia de salida en radianes. Para una  $n=1$ , la ecuación (3.2) proporciona el valor rms de la componente fundamental como:

$$V_1 = \frac{2V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.45V_s \quad (3.3)$$

### 3.4 INVERSOR DE PUENTE COMPLETO.

El inversor de puente completo consiste en cuatro transistores. Cuando los transistores Q1 y Q2 se activan simultáneamente, el voltaje de entrada  $V_s$  aparece a través de la carga. Si los transistores Q3 y Q4 se activan al mismo tiempo, el voltaje a través de la carga se invierte, y adquiere el valor de  $-V_s$ . Con la misma entrada de voltaje CD, el máximo valor de voltaje a la salida del inversor de puente completo es el doble que el de medio puente. Esto implica que para la misma potencia, la corriente de salida y la corriente de conmutación son la mitad de aquellas para el inversor de medio puente. Para altas potencias, esto es una clara ventaja. El inversor de puente completo es utilizado para arreglos que requieran grandes potencias. Su principal desventaja es que dos de sus transistores no se encuentran aterrizados. En la figura 3.3 se muestra el circuito para el inversor de puente completo.

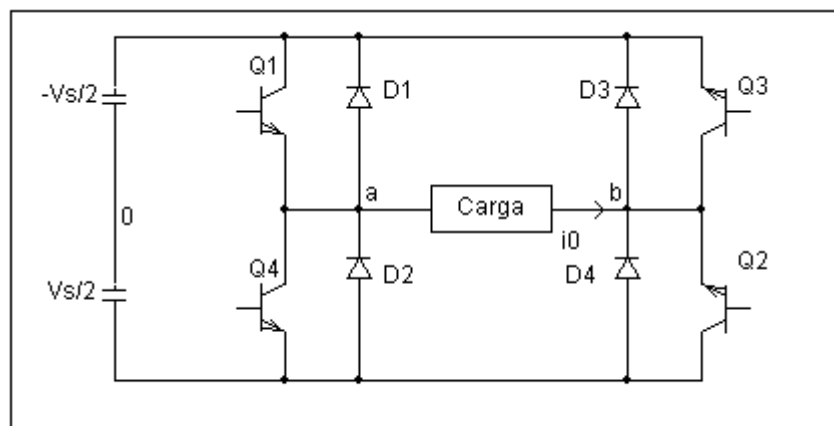


Fig. 3.3 Circuito del inversor de puente completo

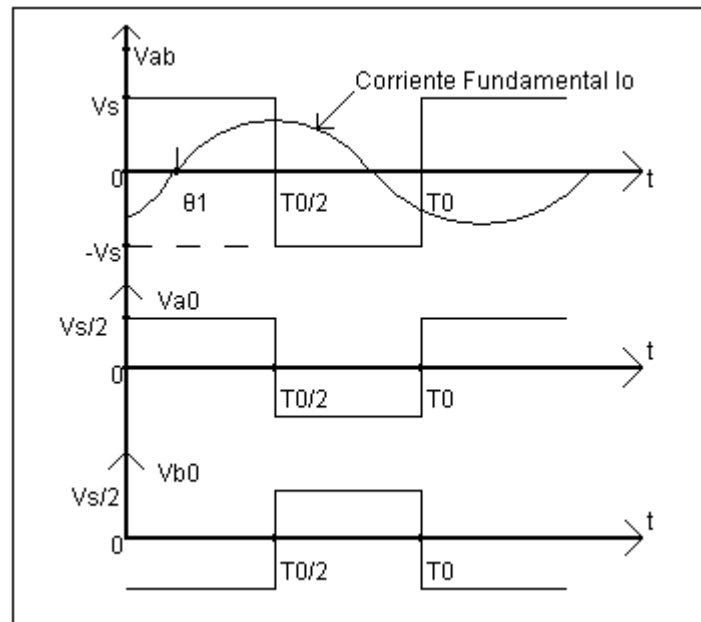


Fig. 3.4 Formas de onda con carga resistiva

El voltaje rms de salida se puede determinar a partir de:

$$V_0 = \left( \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \quad (3.4)$$

Voltaje instantáneo de salida por serie de Fourier:

$$V_0 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \text{sen} \cdot n\omega t \quad (3.5)$$

y para una n=1, la ecuación (3.5) proporciona el valor rms de la componente fundamental como:

$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.90V_s \quad (3.6)$$

### 3.5 INVERSOR CLASE E.

---

El inversor resonante clase E sólo utiliza un transistor, tiene bajas pérdidas de conmutación y obtiene una alta eficiencia, de más de 95%. El circuito se muestra en la figura 3.5a. Por lo general se utiliza en aplicaciones de baja potencia en un rango menor a los 100 W. , por lo cual este inversor es ideal para nuestro proyecto del balastro electrónico el cual solo consumirá 15 W. Por otra parte el dispositivo de conmutación tiene que soportar un voltaje alto. Este inversor se utiliza normalmente para un voltaje de salida fijo, aunque al modificar la frecuencia de conmutación, el voltaje de salida puede variar. La operación del circuito puede dividirse en dos modos: modo A y modo B.

#### MODO A.

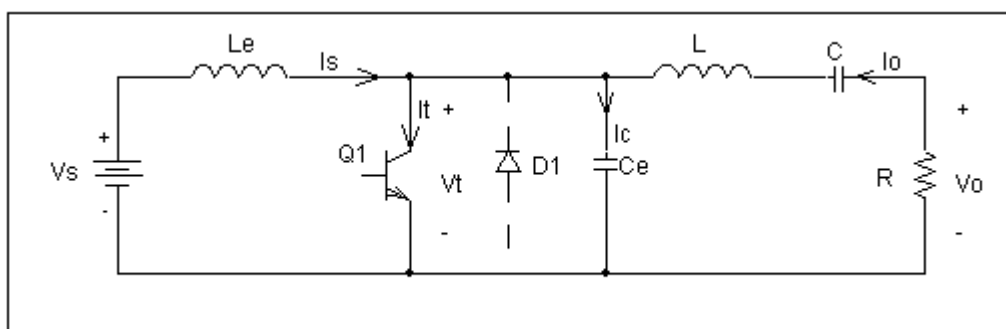
Durante este modo, el transistor Q1 está activado. La corriente de conmutación  $i_T$  está formada por la corriente de la alimentación  $I_s$  y la corriente de la carga  $I_o$ . A fin de obtener una corriente de salida casi senoidal, se seleccionan los valores de L y C para tener un alto factor de calidad Q y una baja relación de amortiguación. El conmutador se desactiva en voltaje cero. Cuando el conmutador está desactivado, su corriente se desvía de inmediato a través del capacitor  $C_e$ . [1].

### MODO B.

Durante este modo, el transistor Q1 está desactivado. La corriente del capacitor  $I_c$  se convierte en la suma de  $I_s$  e  $I_o$ . El voltaje de conmutación se eleva desde cero hasta un valor máximo, y otra vez se abate a cero. Cuando el voltaje de conmutación se abate hasta cero,  $I_c$  normalmente será negativo. A fin de limitar este voltaje negativo, se conecta un diodo antiparalelo. Si el conmutador es un MOSFET, su voltaje negativo queda limitado al valor de la caída de voltaje, de su diodo interconstruido [1]. En la figura 3.5b se muestran los circuitos equivalente para los modos y las formas de onda en 3.5c.

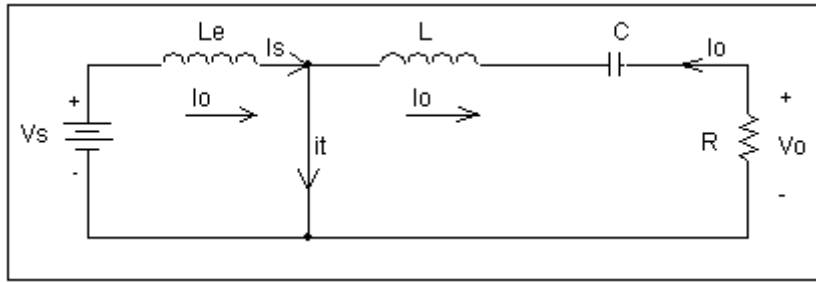
### MODO C.

Este modo existirá únicamente si el voltaje de conmutación se abate hasta cero con una pendiente finita negativa. El circuito equivalente es similar al del modo A, excepto por las condiciones iniciales. La corriente de la carga se abate a cero al final del modo C. Sin embargo, si los parámetros del circuito son tales que el voltaje se abate a cero con una pendiente cero, no habrá necesidad de un diodo y este modo no existirá. [1].

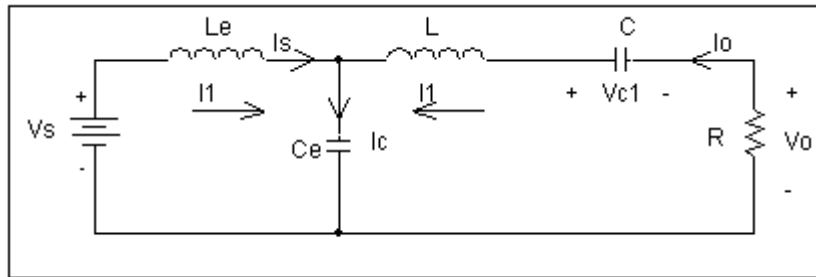




(a) Circuito de inductor clase E



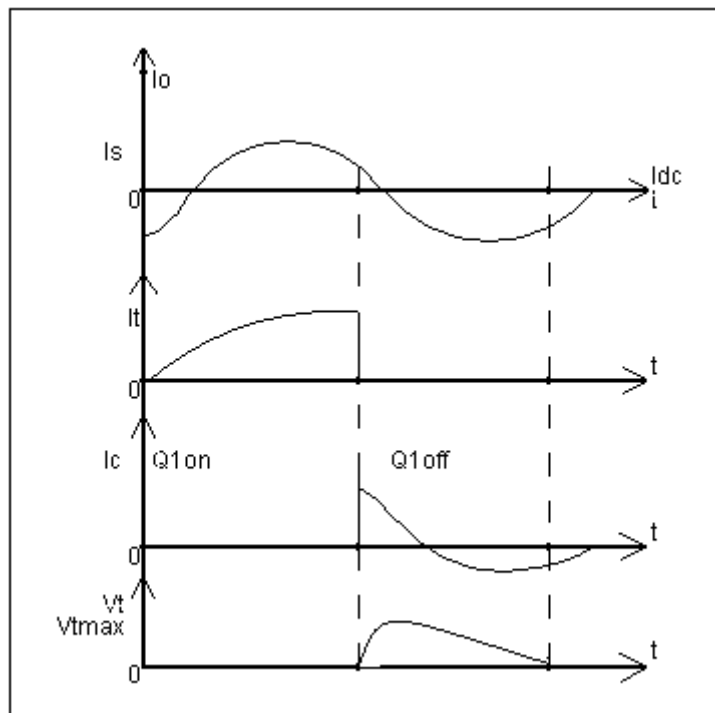
Modo A



Modo B

(b) Circuitos equivalentes

Figura 3.5 Inversor resonante clase E



(c) Formas de onda

Figura 3.5 Inversor resonante clase E

Cuando el transistor está activado, el circuito equivalente es un circuito resonante que consta de L, C y R. Entonces la frecuencia de resonancia ( $\omega_{01} = 2\pi f_{01}$ ) y el factor de calidad Q1 están dados por [9].

$$\omega_{01} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.7)$$

$$Q_1 = \frac{\omega_{01}L}{R} = \frac{1}{\omega_{01}RC} \quad (3.8)$$

Cuando el transistor está desactivado, el circuito resonante en serie consta de  $C_e$ , C, L y R. Entonces la frecuencia de resonancia ( $\omega_{02} = 2\pi f_{02}$ ) y el factor de calidad Q2 están dados por [9]:

$$\omega_{02} = \frac{1}{\sqrt{\frac{LCC_e}{C_e + C}}} \quad (3.9)$$

$$Q_2 = \frac{\omega_{02}L}{R} = \omega_{02}R \frac{CC_e}{C + C_e} \quad (3.10)$$

### 3.6 CIRCUITOS RESONANTES.

---

Los circuitos resonantes son los encargados de que la señal de salida del inversor se mantenga oscilando y nos de como resultado una señal senoidal a la salida. Es decir, para obtener una señal senoidal a la salida es necesario que el inversor este acompañado de un circuito de resonancia. Cabe destacar que el inversor clase E invierte y resona en su misma topología. Los circuitos resonantes principales son:

- Circuito resonante serie LC
- Circuito resonante paralelo LC
- Circuito resonante serie paralelo LCC

### **3.7 ELECCIÓN DEL INVERSOR RESONANTE PARA EL BALASTRO.**

---

La elección del inversor resonante para la aplicación en el balastro mono-etapa fue la del inversor resonante clase E, debido a que tiene las siguientes ventajas:

- Solo utiliza un transistor como elemento de conmutación
- Tiene una alta eficiencia aproximadamente del 95%
- No hay necesidad de añadir un circuito resonante en la carga
- No tiene tierras flotantes

Debido a que solo utiliza un solo transistor se mejora la eficiencia por pérdidas de potencia en los elementos de conmutación. Su implementación es sencilla y no tiene los problemas de

tener transistores no aterrizados como el caso del inversor de puente completo y medio puente.