

Enunciado

Un **convertidor CC/CC (Figura P1.1)** permite alimentar una carga R a partir de una fuente de tensión continua de 48V. El valor del condensador de salida (C) es suficientemente grande de forma que el rizado de la tensión de salida (V_o) es despreciable. Si la forma de la corriente por el interruptor S en régimen permanente y potencia máxima entregada a la carga R es la que se muestra en la Figura P1.2, **se pide**, suponiendo todos los componentes ideales:

1. Calcular el valor de la tensión de salida V_o .
2. Dibujar, acotando los valores más significativos, las formas de onda de tensión y corriente de la bobina (V_L e i_L) y del diodo (V_D e i_D). Representar estas formas de onda temporales referidas a la corriente del interruptor S .
3. Calcular el valor de la inductancia L .
4. Determinar el valor de potencia de salida máxima y mínima, para que el convertidor opere en régimen permanente en modo de conducción continuo.

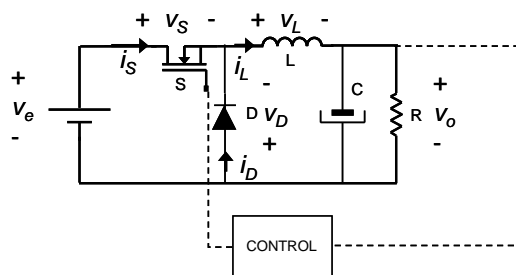


Figura P1.1

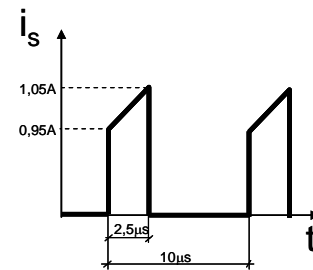


Figura P1.2

Para aumentar la tensión de alimentación V_e a 96V se utiliza el **convertidor CC/CC de la Figura P1.3**. Los valores de L y C y el ciclo de trabajo y la frecuencia de funcionamiento de S son iguales que los del convertidor de la Figura P1.1. Sabiendo que el número de espiras de primario del transformador (N_1) es 2 y la inductancia magnetizante del transformador vista desde el devanado primario es $120\mu\text{H}$, **se pide**, suponiendo todos los componentes ideales:

5. Determinar el número de espiras del devanado secundario del transformador (N_2) para que se obtenga el mismo rizado de corriente en la bobina L que en el convertidor de la Figura P1.1 cuando se transfiere la misma potencia máxima a la carga.
6. Determinar el número máximo de espiras en el devanado terciario del transformador (N_3) para que el convertidor opere en régimen permanente en las condiciones del apartado 5).

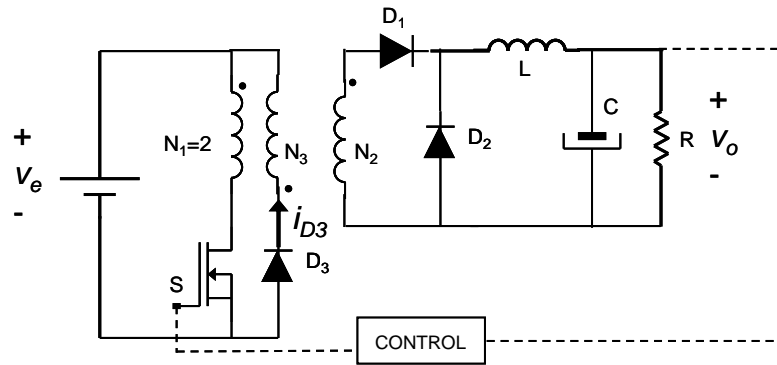


Figura P1.3

Solución propuesta

Apartado 1

La forma de la tensión en la bobina del convertidor reductor de la figura P1.1 se representa en la figura P1.4.

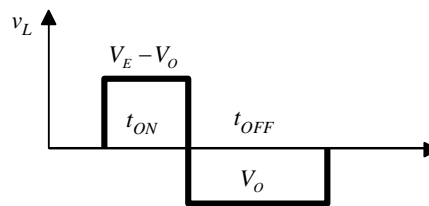


Figura P1.4

Si se aplica la condición de régimen permanente correspondiente a que el valor medio de la tensión en la bobina sea nulo ($\bar{v}_L = 0$) se puede obtener la expresión que relaciona la tensión de salida (V_o) y de entrada (V_E) del convertidor en MCC:

$$\begin{aligned} (V_E - V_o)t_{ON} &= V_o \cdot t_{OFF} \\ (V_E - V_o)d \cdot T &= V_o \cdot (1-d) \cdot T \\ V_E \cdot d - V_o \cdot d &= V_o - V_o \cdot d \\ \boxed{V_o} &= d \cdot V_E \end{aligned}$$

Por lo tanto, el valor de la tensión de salida es:

$$V_o = d \cdot V_E = \frac{2,5 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} \cdot 48 = 0,25 \cdot 48 = 12V$$

Apartado 2

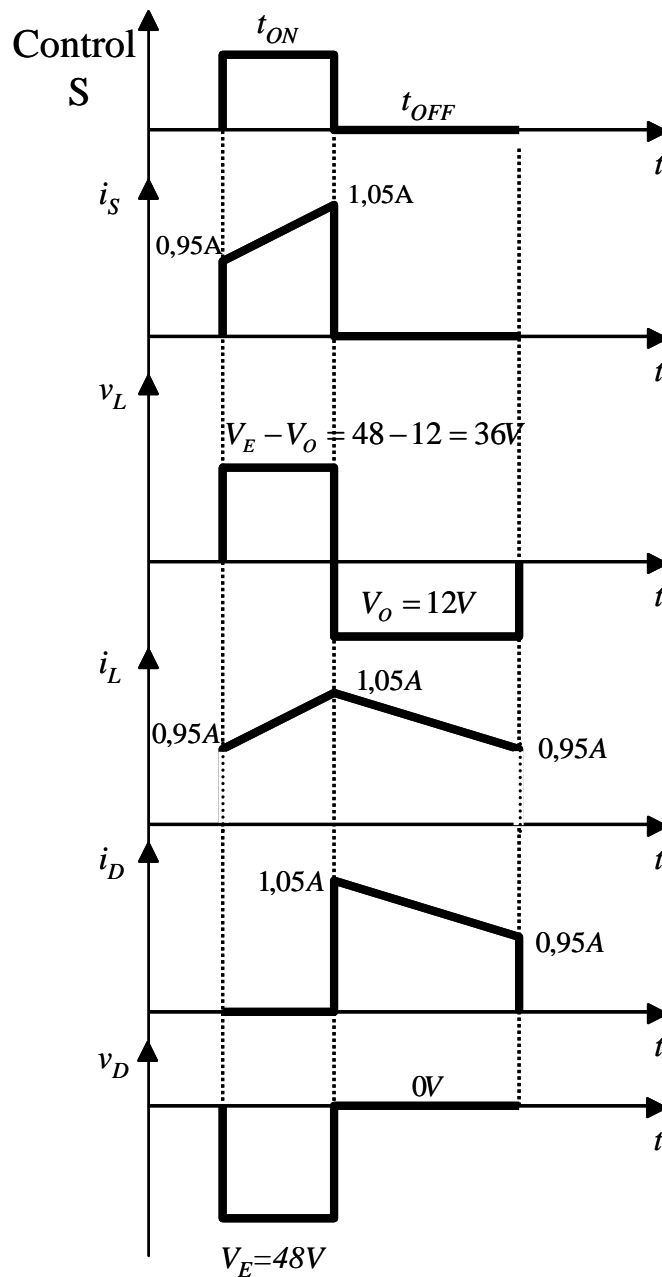


Figura P1.5

Apartado 3

El valor de L se deduce a partir del incremento de corriente en la bobina. Este incremento se puede calcular durante el tiempo de encendido del interruptor, t_{ON} (DT) o durante el tiempo de apagado del interruptor, t_{OFF} $[(1-D) \cdot T]$, ya que debe ser el mismo para que el sistema opere en régimen permanente:

$$\Delta i_L = \underbrace{\frac{V_E - V_O}{L} \cdot DT}_{t_{ON}} = \underbrace{\frac{V_O}{L} (1-D) \cdot T}_{t_{OFF}}$$

Utilizando el incremento de corriente durante el t_{OFF} :

$$\Delta i_L = \frac{V_o}{L} (1-D) \cdot T \Rightarrow L = \frac{V_o \cdot (1-D) \cdot T}{\Delta i_L}$$

$$L = \frac{12 \cdot 7,5 \cdot 10^{-6}}{(1,05 - 0,95)} = 900 \mu H$$

Apartado 4

La expresión de la potencia de salida, viene dada por

$$P_o = V_o \cdot I_o = V_o \cdot \bar{i}_L \quad (1)$$

o también, realizando el balance de potencia de entrada y salida, por la expresión:

$$\left. \begin{array}{l} P_E = V_E \cdot \bar{i}_E \\ P_o = P_E \end{array} \right\} P_o = V_E \cdot \bar{i}_E \quad (2)$$

Se va a calcular el valor de la potencia máxima mediante ambas expresiones de la potencia de salida para comprobar que se obtiene el mismo resultado.

Empleando la expresión (1). Calculamos el valor medio de corriente en la bobina.

$$i_{Lp} = \bar{i}_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$\bar{i}_L = i_{Lp} - \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$\bar{i}_L = 1,05 - \frac{(1,05 - 0,95)}{2} = 1A$$

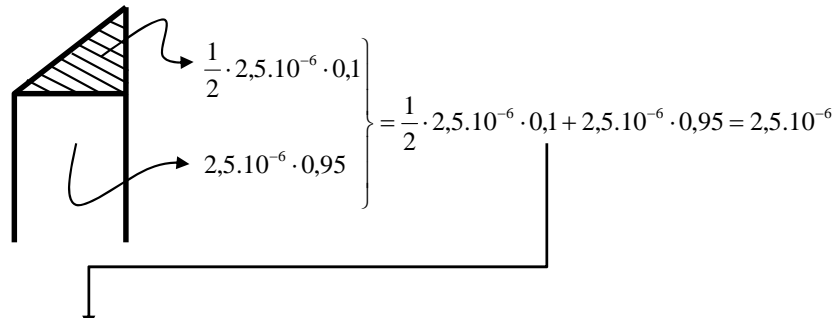
Por lo tanto, la potencia máxima entregada a la carga es:

$$P_{Máxima} = V_o \cdot \bar{i}_L = 12 \cdot 1 = 12W$$

Empleando la expresión (2). EL cálculo de la corriente media de entrada (\bar{i}_E) viene dado por la expresión:

$$\bar{i}_E = \frac{1}{T} \int_0^T i_E \cdot dt = \frac{1}{T} \underbrace{\int_0^{t_{ON}} i_E \cdot dT}_{\substack{\text{Área encerrada} \\ \text{por el triángulo} \\ \text{+ el cuadrada}}}$$

Para el cálculo de la corriente media, hay que determinar el área encerrada por la corriente de entrada. El cálculo de esta área se detalla a continuación:



$$\left. \begin{aligned} & \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \\ & 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,95 \end{aligned} \right\} = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 + 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,95 = 2,5 \cdot 10^{-6}$$

$$\bar{i}_E = \frac{2,5 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} = 0,25 \text{ A}$$

Una vez calculado el valor medio de la corriente de entrada, se determina la potencia de salida máxima:

$$P_o = V_E \cdot \bar{i}_E = 48 \cdot 0,25 = 12 \text{ W}$$

Se observa que el valor de la potencia obtenido es el mismo con ambas expresiones (1) y (2).

Como no cambia ni el ciclo de trabajo, ni la frecuencia, ni el valor de la L, la potencia mínima para que el convertidor siga operando en MCC viene dada por el valor de resistencia crítica de carga R. Esta resistencia de carga disminuye el valor medio de corriente en la bobina hasta que la corriente llega a alcanzar el valor de 0A tal como se representa en la figura P1.6.

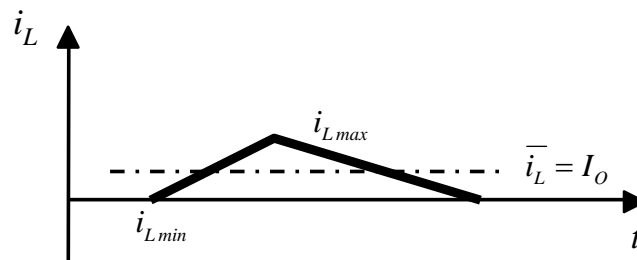


Figura P1.6

Por lo tanto, el valor medio de la corriente de la bobina para la frontera entre ambos modos es:

$$I_o = \bar{i}_L = i_{Lmin} + \frac{\Delta i_L}{2}$$

En la frontera: $i_{Lmin} = 0 \text{ A}$

$$\bar{i}_L = I_o = \frac{\Delta i_L}{2} = 0,05 \text{ A}$$

Y empleando la expresión (1), la potencia mínima es:

$$P_{Mínima} = V_o \cdot \bar{i}_L = 12 \cdot 0,05 = 0,6 \text{ W}$$

Apartado 5

La forma de la corriente en la bobina L en el convertidor Forward de la figura P1.3 se representa en la figura P1.7.

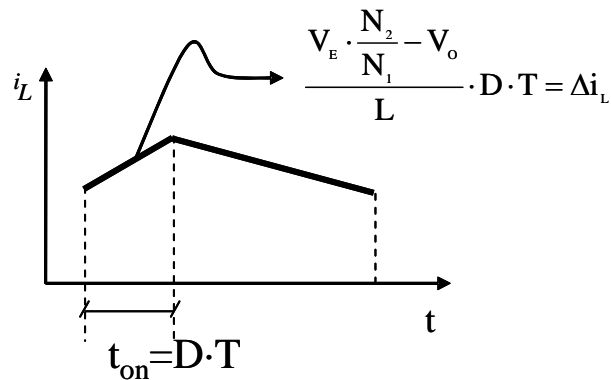


Figura P1.7

Como la carga del convertidor y la potencia máxima son las mismas que en el caso del convertidor reductor, la tensión de salida (V_o) debe ser la misma en ambos convertidores.

Además, como se debe conservar el incremento de corriente en la bobina (Δi_L), se puede deducir N_2 a partir de la expresión del incremento de corriente:

$$\frac{V_E \cdot \frac{N_2}{N_1} - V_o}{L} \cdot D \cdot T = \Delta i_L$$

Despejando N_2 :

$$N_2 = \left(\frac{\Delta i_L \cdot L}{D \cdot T} + V_o \right) \cdot \frac{N_1}{V_E}$$

Sustituyendo los datos del enunciado:

$$N_2 = \left(\frac{0,1 \cdot 900 \cdot 10^{-6}}{2,5 \cdot 10^{-6}} + 12 \right) \frac{2}{96} = 1$$

Apartado 6

El devanado N_3 permite la desmagnetización de la inductancia magnetizante del transformador. Por lo tanto, su valor se calcula aplicando la condición de régimen permanente sobre la bobina magnetizante: la tensión media debe ser nula. El valor máximo de N_3 se corresponde con el tiempo de desmagnetización máximo posible, que es el tiempo de apagado del transistor, $(1-D) \cdot T$. Por lo tanto:

$$V_E \cdot DT = V_E \cdot \frac{N_1}{N_3} (1-D) \cdot T$$

Sustituyendo los datos del enunciado:

$$N_3 = N_1 \frac{(1-D)}{D} = 2 \cdot \frac{7,5 \cdot 10^{-6}}{2,5 \cdot 10^{-6}} = 6$$