

Ejercicios Convertidores DC-DC

Isabel Briozzo

27/4/2020

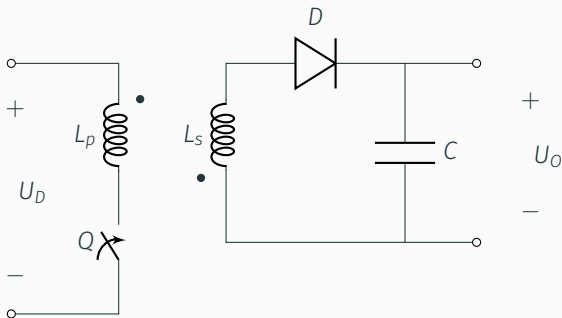
Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Problema 3 del Primer Parcial de
2018
Convertidor Flyback

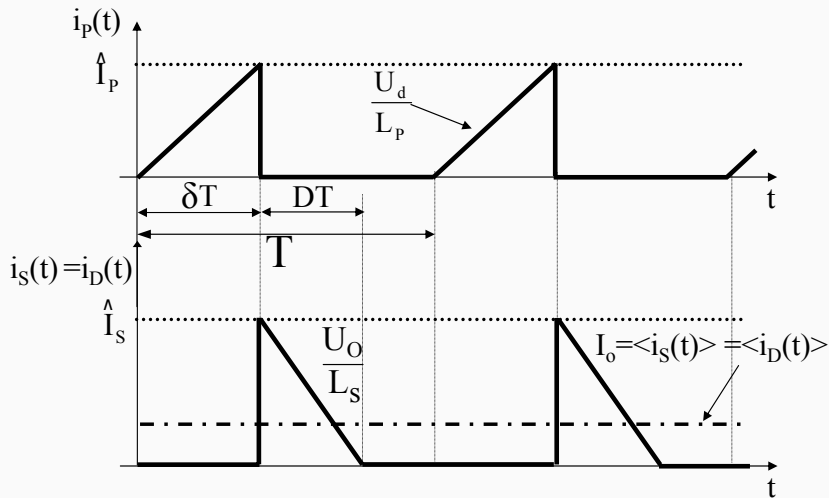
Datos del problema

- $U_O = 5\text{ V}$, $I_{Omax} = 3\text{ A}$
- $U_D = 12\text{ V} \pm 20\%$
- Convertidor flyback con relación de vueltas $\frac{N_p}{N_s} = 1,3$ y

frecuencia de conmutación de la llave $f = 50\text{ kHz}$. Se desea que el convertidor trabaje siempre en **Modo de Conducción Discontinua**.

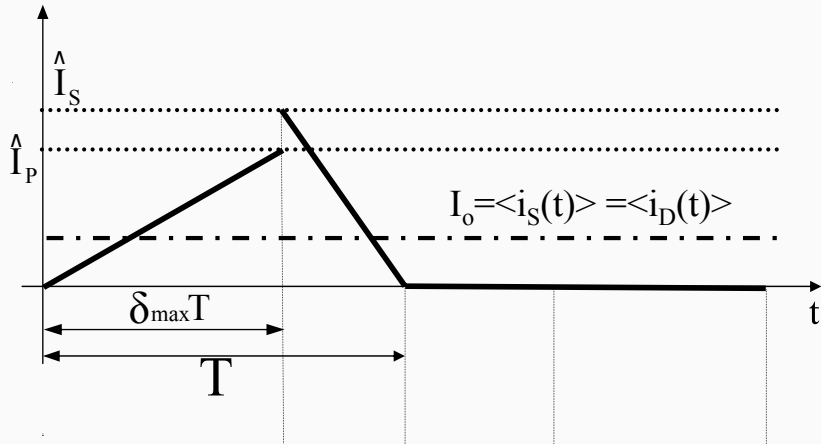


Parte a) Determinar pico máximo de la corriente por el diodo



Parte a) Determinar pico máximo de la corriente por el diodo

Como la pendiente de i_s es constante e igual a $\frac{-U_o}{L_s}$, el pico se va a dar en el límite de conducción continua, con $\delta = \delta_{max}$



Parte a) Determinar pico máximo de la corriente por el diodo

δ_{max} se da con $U_{Dmin} \Rightarrow$

$$\frac{U_O}{U_{Dmin}} \underbrace{=}_{LCC} \frac{N_s}{N_p} \frac{\delta_{max}}{1 - \delta_{max}} \Rightarrow \delta_{max} = 0,404$$

Parte a) Determinar pico máximo de la corriente por el diodo

δ_{max} se da con $U_{Dmin} \Rightarrow$

$$\frac{U_O}{U_{Dmin}} \underbrace{=}_{LCC} \frac{N_s}{N_p} \frac{\delta_{max}}{1 - \delta_{max}} \Rightarrow \delta_{max} = 0,404$$

La corriente de pico en el secundario se relaciona con la corriente de salida como:

$$I_{Omax} = \frac{1}{T} \frac{1}{2} (1 - \delta_{max}) T \hat{I}_s$$

Parte a) Determinar pico máximo de la corriente por el diodo

δ_{max} se da con $U_{Dmin} \Rightarrow$

$$\frac{U_O}{U_{Dmin}} \underbrace{=}_{LCC} \frac{N_s}{N_p} \frac{\delta_{max}}{1 - \delta_{max}} \Rightarrow \delta_{max} = 0,404$$

La corriente de pico en el secundario se relaciona con la corriente de salida como:

$$I_{Omax} = \frac{1}{T} \frac{1}{2} (1 - \delta_{max}) T \hat{I}_s$$

$$\hat{I}_s = 10,07 \text{ A}$$

Parte b) Calcular la inductancia del primario del transformador

Parte b) Calcular la inductancia del primario del transformador

En el LCC vale $\frac{U_O}{U_{Dmin}} = \sqrt{\frac{RT}{2L_p}} \delta_{max}$

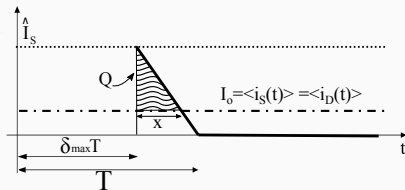
Parte b) Calcular la inductancia del primario del transformador

En el LCC vale $\frac{U_O}{U_{Dmin}} = \sqrt{\frac{RT}{2L_p}} \delta_{max}$

$$\Rightarrow L_p = 10,08 \mu H$$

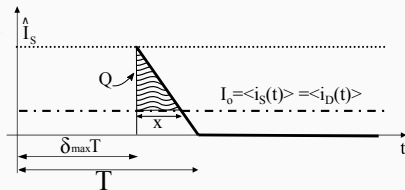
Parte c) Determinar el condensador a la salida

Condición: Ripple de tensión a la salida $\Delta V_o \leq 100 \text{ mV}$



Parte c) Determinar el condensador a la salida

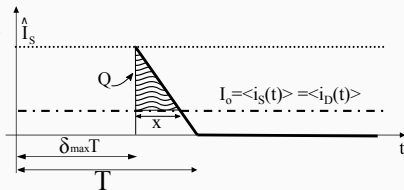
Condición: Ripple de tensión a la salida $\Delta V_o \leq 100 \text{ mV}$



$$\Delta Q = C \Delta V_c$$

Parte c) Determinar el condensador a la salida

Condición: Ripple de tensión a la salida $\Delta V_o \leq 100 \text{ mV}$

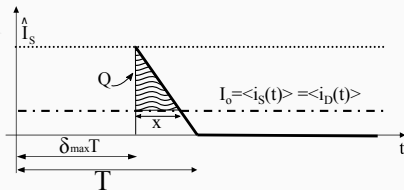


$$\Delta Q = C \Delta V_c$$

$$\Delta Q = \text{Área marcada} = \frac{1}{2} (\hat{I}_s - I_o) x \stackrel{x=0,42T}{=} \frac{1}{2} (10,07\text{A} - 3\text{A}) 0,42T$$

Parte c) Determinar el condensador a la salida

Condición: Ripple de tensión a la salida $\Delta V_o \leq 100 \text{ mV}$



$$\Delta Q = C \Delta V_c$$

$$\Delta Q = \text{Área marcada} = \frac{1}{2} (\hat{i}_s - I_o) x \stackrel{x=0,42T}{=} \frac{1}{2} (10,07\text{A} - 3\text{A}) 0,42T$$

$$\Delta V_c = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{29 \times 10^{-6} \text{As}}{C} < 100 \text{ mV} \Rightarrow C \geq 297 \mu\text{F}$$

Parte c) Condensador a la salida, chequeo de la ESR

De la tabla adjunta selecciono el condensador con capacitancia que cumpla la restricción anterior:

$$C = 330 \mu F, ESR = 0,37 \Omega$$

Parte c) Condensador a la salida, chequeo de la ESR

De la tabla adjunta selecciono el condensador con capacitancia que cumpla la restricción anterior:

$$C = 330 \mu F, ESR = 0,37 \Omega$$

¿Qué ripple me produce la ESR?

$$\Delta V_{ESR} = ESR \Delta I = ESR \hat{I}_s = 3,73 V > 0,1 V$$

Parte c) Condensador a la salida, chequeo de la ESR

De la tabla adjunta selecciono el condensador con capacitancia que cumpla la restricción anterior:

$$C = 330 \mu F, ESR = 0,37 \Omega$$

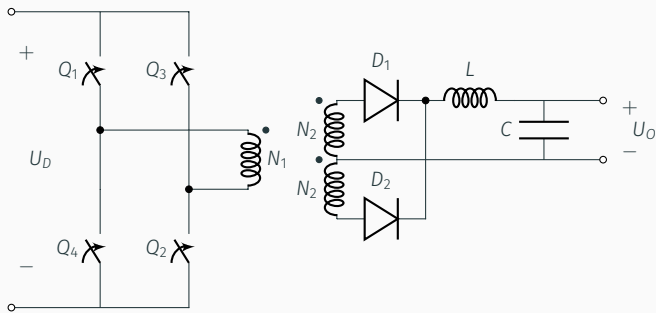
¿Qué ripple me produce la ESR?

$$\Delta V_{ESR} = ESR \Delta I = ESR \hat{I}_s = 3,73 V > 0,1 V$$

Debo utilizar un condensador cuya ESR sea menor a $\frac{0,1 V}{10,07 A} = 0,01 \Omega$
De la tabla no encuentro un condensador que cumpla esa restricción. Una solución posible es usar dos condensadores en paralelo de $5600 \mu F$ con $ESR = 0,019 \Omega$.

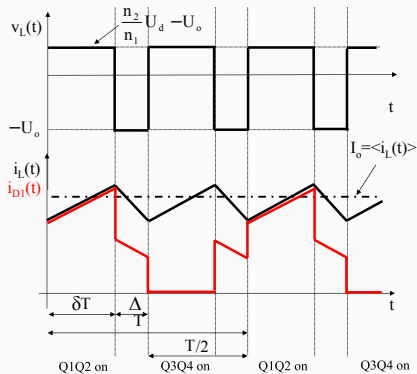
$$C_2 \approx 112 mF, ESR \approx 0,01 \Omega$$

Problema 3 del Segundo Parcial
de 2005
Convertidor Full Bridge



- $U_O = 110 \text{ V}$, $I_{Omax} = 14 \text{ A}$
- $U_D = 220 \text{ V} \pm 20 \%$
- $C = 3300 \mu\text{F}$, $ESR = 50 \text{ m}\Omega$
- MCC a partir de una corriente $I_O = 0,5 \text{ A}$
- Control PWM, $f = 50 \text{ kHz}$, $\delta \in [0,04; 0,45]$

Parte a) Relación de transformación del transformador tal que la corriente por las llaves sea mínima



$$\hat{I}_Q = \frac{N_2}{N_1} \hat{I}_L$$

\Rightarrow Tengo que minimizar $\frac{N_2}{N_1}$

Parte a) Relación de transformación del transformador tal que la corriente por las llaves sea mínima

$$\frac{U_O}{U_D} = 2 \frac{N_2}{N_1} \delta$$

$\frac{N_2}{N_1}$ será lo más chico que pueda si impongo que $\delta = \delta_{max}$ cuando
 $U_D = U_{Dmin}$

Parte a) Relación de transformación del transformador tal que la corriente por las llaves sea mínima

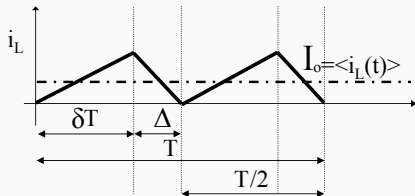
$$\frac{U_O}{U_D} = 2 \frac{N_2}{N_1} \delta$$

$\frac{N_2}{N_1}$ será lo más chico que pueda si impongo que $\delta = \delta_{max}$ cuando $U_D = U_{Dmin}$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{2} \frac{110V}{220V \cdot 0,8} \frac{1}{0,45} = 0,69$$

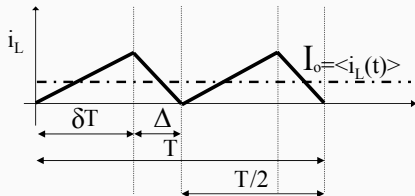
Parte b) Calcular inductancia de salida

Impongo que en el LCC $I_o = 0,5$ A



Parte b) Calcular inductancia de salida

Impongo que en el LCC $I_o = 0,5 \text{ A}$

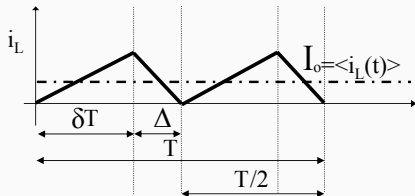


$$I_o = \frac{2 U_o}{T L} \left(\frac{1}{2} - \delta \right) T \frac{T}{2} \frac{1}{2}$$

$$I_{Omin} \longleftrightarrow \delta_{min} \longleftrightarrow U_{Dmax}$$

Parte b) Calcular inductancia de salida

Impongo que en el LCC $I_o = 0,5$ A



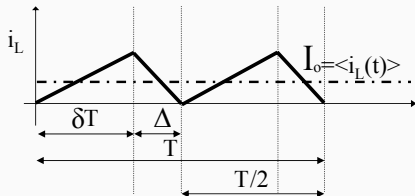
$$I_o = \frac{2 U_o}{T} \frac{1}{L} \left(\frac{1}{2} - \delta \right) T \frac{T}{2} \frac{1}{2}$$

$$I_{Omin} \longleftrightarrow \delta_{min} \longleftrightarrow U_{Dmax}$$

$$\delta_{min} = \frac{1}{2} \frac{U_o}{U_{Dmax}} \frac{N_1}{N_2} = 0,3$$

Parte b) Calcular inductancia de salida

Impongo que en el LCC $I_o = 0,5 \text{ A}$



$$I_o = \frac{2 U_o}{T L} \left(\frac{1}{2} - \delta \right) T \frac{T}{2}$$

$$I_{Omin} \longleftrightarrow \delta_{min} \longleftrightarrow U_{Dmax}$$

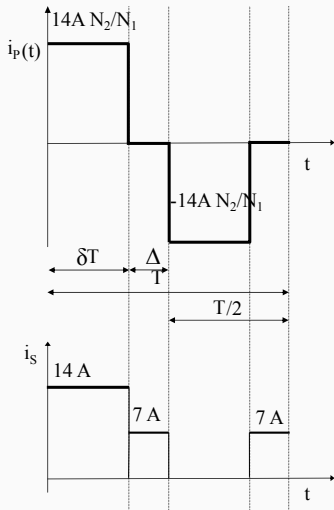
$$\delta_{min} = \frac{1}{2} \frac{U_o}{U_{Dmax}} \frac{N_1}{N_2} = 0,3$$

$$L = \frac{1}{2} \frac{110V}{0,5A} (0,5 - 0,3) \frac{1}{50kHz} = 440 \mu H$$

Parte c) Calcular aproximadamente las corrientes eficaces para las que debe dimensionarse el transformador

Parte c) Calcular aproximadamente las corrientes eficaces para las que debe dimensionarse el transformador

Aproximación: L grande $\Rightarrow I_L$ lisa, $I_{Lmax} = 14 A$

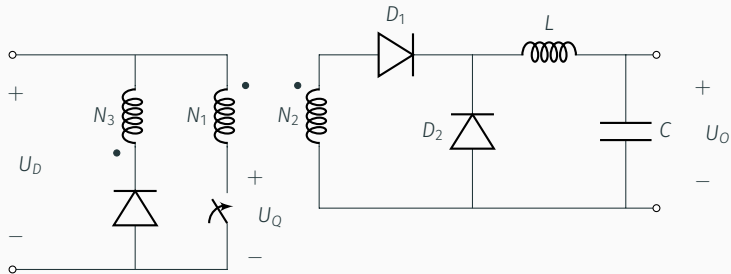


Parte c) Calcular aproximadamente las corrientes eficaces para las que debe dimensionarse el transformador

$$i_{pef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_p^2(t) dt} \underbrace{=}_{\delta_{max}} = 9,16 \text{ A}$$

$$i_{sef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_D^2(t) dt} \underbrace{=}_{\delta_{max}} = 9,65 \text{ A}$$

Problema 2 del Segundo Parcial
de 2014
Convertidor Forward



- $U_O = 12 \text{ V}$, $\Delta V_{Omax} = 0,1 \text{ V}$
- $I_O \in [I_{Omin}, 50 \text{ A}]$
- $U_D \in [42 \text{ V}, 57 \text{ V}]$
- Control con $f = 50 \text{ Hz}$, $\delta \in [0,07; 0,6]$
- Transformador: $N_1 = 10$, $L_{m1} = 100 \mu\text{H}$
- $\Delta I_c \leq 0,2 I_O$

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Cálculo N_2 :

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Cálculo N_2 :

Transferencia en modo de conducción continua

$$\frac{U_O}{U_D} = \frac{N_2}{N_1} \delta$$

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Cálculo N_2 :

Transferencia en modo de conducción continua

$$\frac{U_O}{U_D} = \frac{N_2}{N_1} \delta$$

Impongo δ_{max} con U_{Dmin}

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Cálculo N_2 :

Transferencia en modo de conducción continua

$$\frac{U_O}{U_D} = \frac{N_2}{N_1} \delta$$

Impongo δ_{max} con U_{Dmin}

$$\frac{12V}{42V} = \frac{N_2}{N_1} 0,6 \Rightarrow N_2 = 4,76 = 5$$

$$\boxed{N_2 = 5}$$

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Cálculo N_3 :

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Cálculo N_3 :

Tiene que permitir que el núcleo se desmagnetice en el tiempo en que la llave esté abierta

$$t_m = \frac{N_3}{N_1} \delta T \leq (1 - \delta) T$$

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Cálculo N_3 :

Tiene que permitir que el núcleo se desmagnetice en el tiempo en que la llave esté abierta

$$t_m = \frac{N_3}{N_1} \delta T \leq (1 - \delta) T$$

Peor caso $\delta = \delta_{max}$

$$\frac{N_3}{N_1} \delta_{max} \leq (1 - \delta_{max})$$

Parte a) Calcular número de vueltas de cada bobinado del transformador

Cálculo N_3 :

Tiene que permitir que el núcleo se desmagnetice en el tiempo en que la llave esté abierta

$$t_m = \frac{N_3}{N_1} \delta T \leq (1 - \delta) T$$

Peor caso $\delta = \delta_{max}$

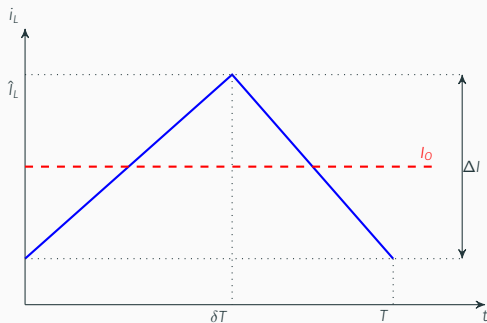
$$\frac{N_3}{N_1} \delta_{max} \leq (1 - \delta_{max})$$

$$N_3 \leq \frac{1 - \delta_{max}}{\delta_{max}} N_1 = 6,67$$

$$N_3 = 6$$

Parte b) Determinar la inductancia del filtro de salida

Parte b) Determinar la inductancia del filtro de salida



L acota el *ripple* de corriente,

$$\Delta I_c = \Delta I_L \leq 0,2 I_{Omax} = 10 \text{ A}$$

Parte b) Determinar la inductancia del filtro de salida

$$\Delta I = \frac{U_o}{L}(1 - \delta)T \leq 10 \text{ A}$$

Parte b) Determinar la inductancia del filtro de salida

$$\Delta I = \frac{U_O}{L}(1 - \delta)T \leq 10 \text{ A}$$

Peor caso: δ_{min}

$$\delta_{min} = \frac{U_O}{U_{Dmax}} \frac{N_1}{N_2} = 0,42$$

Parte b) Determinar la inductancia del filtro de salida

$$\Delta I = \frac{U_o}{L}(1 - \delta)T \leq 10 \text{ A}$$

Peor caso: δ_{min}

$$\delta_{min} = \frac{U_o}{U_{Dmax}} \frac{N_1}{N_2} = 0,42$$

$$\Delta I = \frac{12V(1 - 0,42)}{L50kHz} \leq 10 \text{ A}$$

Parte b) Determinar la inductancia del filtro de salida

$$\Delta I = \frac{U_o}{L}(1 - \delta)T \leq 10 \text{ A}$$

Peor caso: δ_{min}

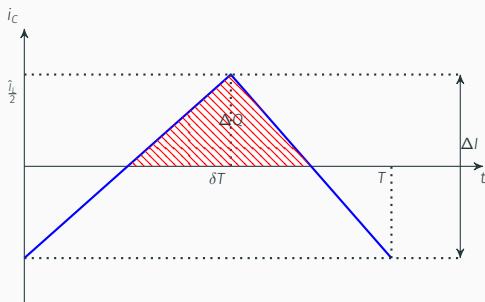
$$\delta_{min} = \frac{U_o}{U_{Dmax}} \frac{N_1}{N_2} = 0,42$$

$$\Delta I = \frac{12V(1 - 0,42)}{L50kHz} \leq 10 \text{ A}$$

$$L_{min} = 13,9 \mu H$$

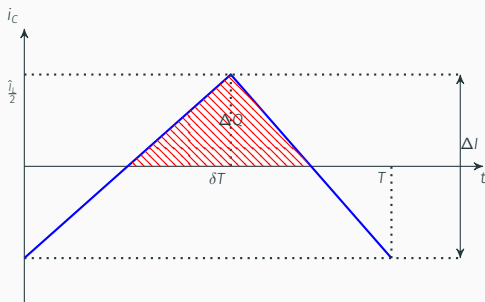
Parte c) Determinar capacitancia del condensador de salida

Parte c) Determinar capacitancia del condensador de salida



$$\frac{\Delta Q}{C} = \Delta V_c = \Delta V_o \leq 0,1 V$$

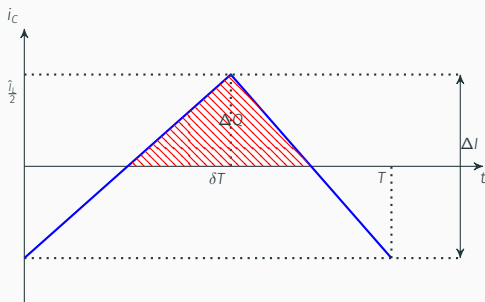
Parte c) Determinar capacitancia del condensador de salida



$$\frac{\Delta Q}{C} = \Delta V_c = \Delta V_o \leq 0,1 V$$

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \frac{T}{2} \frac{\Delta I}{2} = \frac{T}{8} 10A \Rightarrow \Delta V_c = \frac{10}{8 \times 50kHz} \frac{1}{C} \leq 0,1$$

Parte c) Determinar capacitancia del condensador de salida



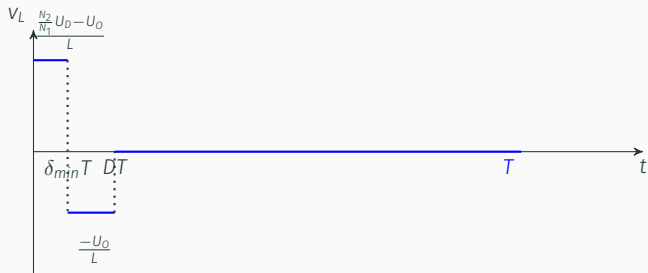
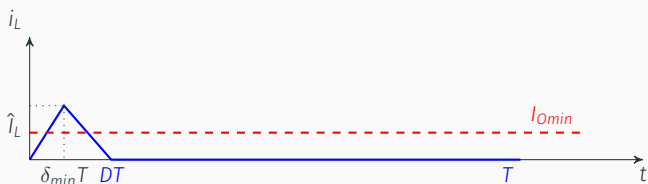
$$\frac{\Delta Q}{C} = \Delta V_c = \Delta V_o \leq 0,1 \text{ V}$$

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \frac{T}{2} \frac{\Delta I}{2} = \frac{T}{8} 10 \text{ A} \Rightarrow \Delta V_c = \frac{10}{8 \times 50 \text{ kHz}} \frac{1}{C} \leq 0,1$$

$$C_{min} = 250 \mu\text{F}$$

Parte d) Calcular la carga mínima que se debe conectar a la salida en forma permanente

Parte d) Calcular la carga mínima que se debe conectar a la salida en forma permanente



Parte d) Calcular la carga mínima que se debe conectar a la salida en forma permanente

$$I_{Omin} = \frac{1}{T} \frac{1}{2} \frac{U_0}{L} (D - \delta) TDT$$

Parte d) Calcular la carga mínima que se debe conectar a la salida en forma permanente

$$I_{Omin} = \frac{1}{T} \frac{1}{2} \frac{U_O}{L} (D - \delta) T D T$$

Para hallar D impongo $\left(\frac{N_2}{N_1} U_D - U_O \right) \delta T = U_O (D - \delta)$

$$\Rightarrow D = \frac{N_2}{N_1} \frac{U_D}{U_O} \delta$$

Parte d) Calcular la carga mínima que se debe conectar a la salida en forma permanente

$$I_{Omin} = \frac{1}{T} \frac{1}{2} \frac{U_0}{L} (D - \delta) T D T$$

Para hallar D impongo $\left(\frac{N_2}{N_1} U_D - U_0\right) \delta T = U_0 (D - \delta)$

$$\Rightarrow D = \frac{N_2}{N_1} \frac{U_D}{U_0} \delta$$

$$I_{Omin} = \frac{U_0}{2Lf} \frac{N_2}{N_1} \frac{U_D}{U_0} \left(\frac{N_2}{N_1} \frac{U_D}{U_0} - 1\right) \delta^2$$

Parte d) Calcular la carga mínima que se debe conectar a la salida en forma permanente

Impongo que a U_{Dmax} el control opere en δ_{min}

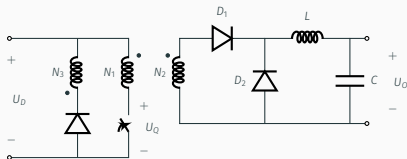
$$I_{Omin} = 0,14 \text{ A}$$

$$\Rightarrow R_{cmin} = \frac{12 \text{ V}}{0,14 \text{ A}} = 85,7 \ \Omega$$

Parte e) Calcular corriente y tensión máximas que debe soportar la llave

Parte e) Calcular corriente y tensión máximas que debe soportar la llave

Tensión de bloqueo:



$$U_{Qmax} = U_{Dmax} + \frac{N_1}{N_3} U_{Dmax} = 152 \text{ V}$$

Parte e) Calcular corriente y tensión máximas que debe soportar la llave

Corriente máxima:

$$i_{Qmax} = \frac{N_2}{N_1} \hat{i}_L + \hat{i}_m$$

Parte e) Calcular corriente y tensión máximas que debe soportar la llave

Corriente máxima:

$$i_{Qmax} = \frac{N_2}{N_1} \hat{i}_L + \hat{i}_m$$

$$\hat{i}_L = I_{Omax} + \frac{\Delta I}{2} = 55 \text{ A}$$

$$\hat{i}_m = \frac{U_D}{L_m} \delta T = \frac{57V}{100\mu H} \frac{12V}{57V} \frac{10}{5} \frac{1}{50kHz} = 4,8 \text{ A}$$

Parte e) Calcular corriente y tensión máximas que debe soportar la llave

Corriente máxima:

$$i_{Qmax} = \frac{N_2}{N_1} \hat{i}_L + \hat{i}_m$$

$$\hat{i}_L = I_{Omax} + \frac{\Delta I}{2} = 55 \text{ A}$$

$$\hat{i}_m = \frac{U_D}{L_m} \delta T = \frac{57V}{100\mu H} \frac{12V}{57V} \frac{10}{5} \frac{1}{50kHz} = 4,8 \text{ A}$$

$$i_{Qmax} = 32,3 \text{ A}$$