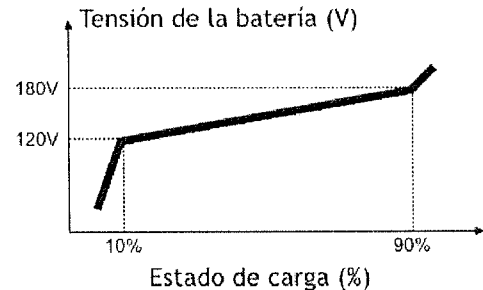


Un vehículo eléctrico incorpora una batería que alimenta todos sus sistemas. La batería de este vehículo presenta una tensión en función del estado de carga como muestra la figura. El sistema de gestión de la batería asegura que la batería se utiliza siempre cuando su estado de carga está entre el 10% y el 90%.



PROBLEMA 1 (3,8 puntos) por apartados 0,8-0,8-1,0-1,2

Para uno de los sistemas del vehículo, se necesita generar una tensión continua y constante (U_s) igual a 240V para alimentar una carga resistiva de 360Ω desde la batería, para lo que se utiliza un convertidor dc-dc tipo elevador. En este convertidor, se puede suponer que la inductancia (L) es muy grande y por tanto, la corriente por la bobina es constante. Se pide:

- Ciclo de trabajo máximo y mínimo del transistor T.
- Máxima corriente por la bobina.
- Potencia disipada en el transistor MOSFET ($R_{ds(on)}=100m\Omega$) para el peor caso.
- Valor del condensador C para que, en el peor caso, el rizado de tensión de salida sea de 2,4V si la frecuencia de conmutación es igual a 50kHz.

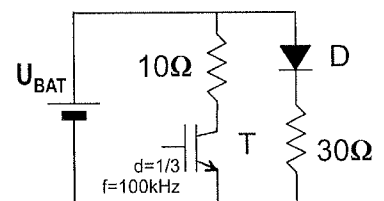
PROBLEMA 2 (3,8 puntos) por apartados 1,0-1,4-1,4

Otro de los elementos que incorpora el vehículo es una bobina ($L=50mH$) que debe ser alimentada con una tensión alterna de 90V eficaces y 800Hz de frecuencia. Se elige un inversor con estructura de puente completo compuesto por 4 IGBTs y sus correspondientes diodos en antiparalelo y se emplea un control por fase desplazada. Se pide:

- Calcular la variación del ángulo θ del inversor para mantener una tensión de salida eficaz igual a 90V.
- Dibujar un ciclo completo de la onda de tensión de salida (U_s) y de la corriente por la carga, indicando los semiconductores por los que circula.
- Obtener la ecuación matemática de que indique el valor del pico de la corriente por la bobina en función del valor de U_{BAT} . Indicar el valor máximo de esta corriente.

PROBLEMA 3 (2,4 puntos) por apartados 0,6-0,9-0,9

Por último, uno de los circuitos de protección y monitorización del vehículo que también se alimenta de la batería, incorpora un diodo y un transistor como muestra la figura. Se pide:



- Calcular la potencia máxima y media que, en el peor caso, disipan tanto el diodo como el IGBT. Datos: IGBT $U_{CE,SAT}=2V$; DIODO $V_\gamma=1V$ y $R_d=0\Omega$.
- Calcular el radiador que hace falta para no destruir estos semiconductores si cada uno lleva su propio radiador. Datos ($T_A=30^\circ C$, $T_{U,MAX}=130^\circ C$, $R_{\theta UA}=50^\circ C/W$, $R_{\theta UC}=1^\circ C/W$, $R_{\theta CR}=0^\circ C/W$)
- Calcular el radiador que hace falta para no destruir estos semiconductores si ambos dispositivos van montados en el mismo radiador (mismos datos térmicos que el apartado anterior)

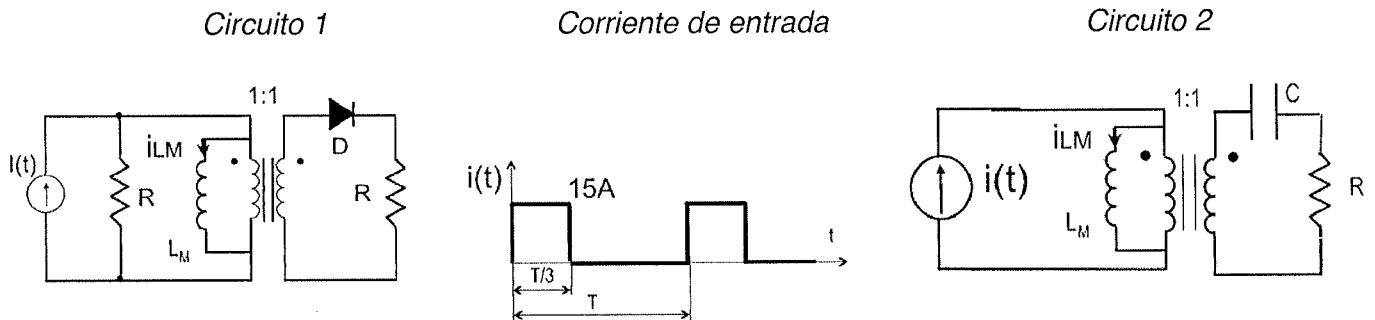
PROBLEMA 1 (6 puntos) por apartados 3,0-1,0-1,0-1,0

Se dispone de un rectificador de media onda controlado conectado a una red trifásica equilibrada de 50Hz y 230V eficaces de tensión fase-neutro. Los tiristores del rectificador se pueden considerar ideales y se disparan con un ángulo $\alpha=60^\circ$. Este rectificador se emplea para alimentar varias cargas y se desea valorar su comportamiento ante algunas de ellas.

- Para todas las cargas que se indican a continuación, dibujar la forma de onda de la tensión y la corriente de salida y calcular el valor medio de tensión de salida.
 Carga.1: Resistiva $R=10\Omega$.
 Carga.2: Resistiva-inductiva $R=10\Omega$ y $L=800\text{mH}$.
 Carga.3: Resistiva-inductiva $R=10\Omega$ y $L=800\text{mH}$ y diodo de libre circulación.
 Carga.4: Batería con resistencia en serie: $U_{\text{BAT}}=162,5\text{V}$; $R=10\Omega$.
- Para la carga 2, calcular el factor de potencia del rectificador.
- Para la carga 3, calcular las pérdidas en el diodo de libre circulación ($V_\gamma=1\text{V}$ y $R_d=50\text{m}\Omega$).
- Para la carga 4, calcular el tiempo necesario para realizar una carga completa de la batería si ésta tiene una capacidad de $50\text{A}\cdot\text{h}$.

PROBLEMA 2 (2 puntos) por apartados 1,0-1,0

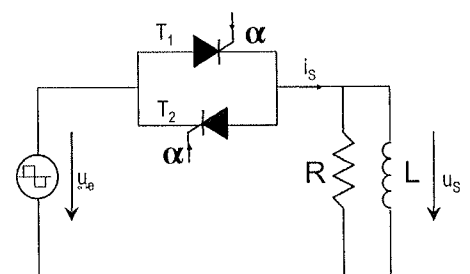
Para los dos circuitos que se muestran, hallar el valor de la corriente magnetizante por el transformador (puede considerarse que la inductancia magnetizante es de alto valor y, por tanto, su corriente es constante). Para ambos circuitos, la entrada es una fuente de corriente que también se muestra en la figura



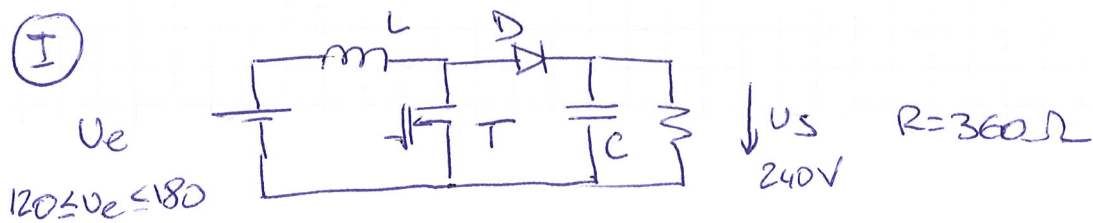
PROBLEMA 3 (2 puntos) por apartados 0,6-0,6-0,8

El regulador de la figura se alimenta desde una tensión alterna cuadrada de valor $\pm 100\text{V}$ y 50Hz. La carga debe recibir también una tensión alterna y para ello se disparan los tiristores con un $\alpha=120^\circ$ en cada semiciclo de U_e . La carga está compuesta de una resistencia ($R=20\Omega$) y una bobina ($L=33,3\text{mH}$) en paralelo.

- Dibujar la corriente (i_s) y la tensión de salida (U_s) si la carga sólo tiene parte resistiva. Indicar la potencia entregada a la carga.
- Dibujar la corriente (i_s) y la tensión de salida (U_s) si la carga sólo tiene parte inductiva. Indicar el valor máximo de la corriente.
- Dibujar la corriente (i_s) y la tensión de salida (U_s) para la carga completa.



(I)



$$a) \quad U_s = \frac{U_e}{1-d} \Rightarrow d = 1 - \frac{U_e}{U_s}$$

$$U_e = 180V \Rightarrow d = 0,25$$

$$U_e = 120V \Rightarrow d = 0,5$$

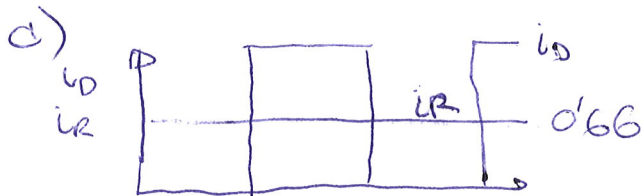
b) El peor caso de corriente por la bobina tendrá lugar para

$$U_e = 120V:$$

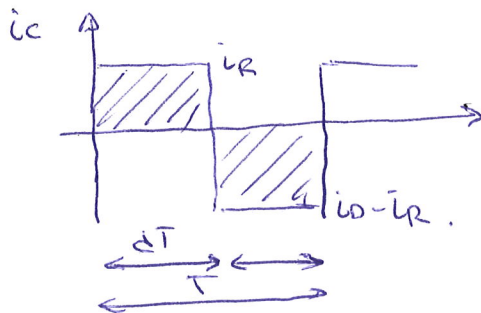
$$P_e = P_s \Rightarrow U_e \cdot I_L = \frac{U_s^2}{R} \Rightarrow I_L = \frac{U_s^2}{R U_e} = \frac{240^2}{360 \cdot 120} = 1,33A$$

c) $P_{MOSFET} = P_{DS(on)} \cdot I_{T,EF}^2$ el peor caso tiene lugar cuando U_e es la menor ya que la corriente es mayor y también el ciclo de trabajo.

$$I_{T,EF} = I_L \sqrt{d} = 1,33 \cdot \sqrt{0,5} = 0,94A \quad P = 88mW$$



$$i_R = 0,64$$



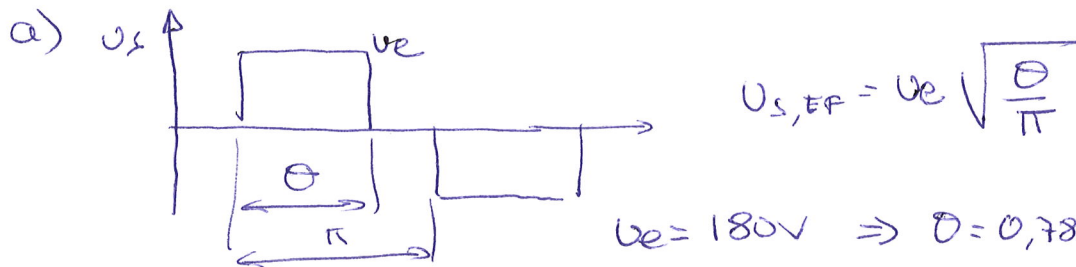
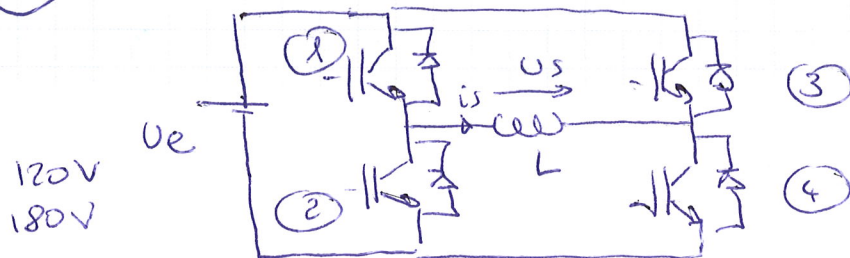
$$i = C \frac{dU_C}{dt} = C \frac{\Delta U_C}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow C = \frac{i \cdot \Delta t}{\Delta U_C} = \frac{i_R \cdot dT}{\Delta U_C}$$

El peor caso será cuando d sea mayor (120V)

$$C = \frac{0,66 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{50 \cdot 10^3}}{2,4V} = 2,75 \mu F$$

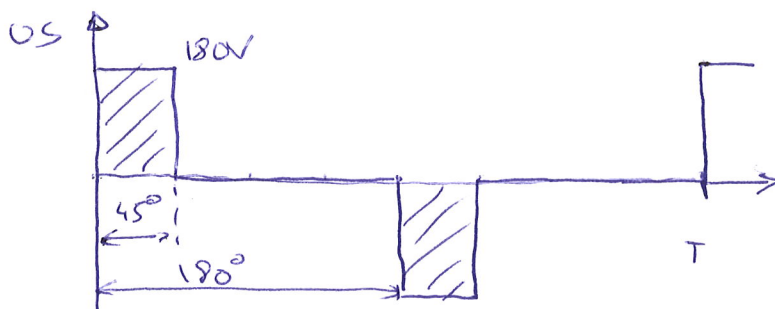
II



$$U_e = 180V \Rightarrow \theta = 0,785 \text{ rad } (45^\circ)$$

$$U_e = 120V \Rightarrow \theta = 1,767 \text{ rad } (101^\circ)$$

b) Para $U_e = 180V$ $\theta = 45^\circ$

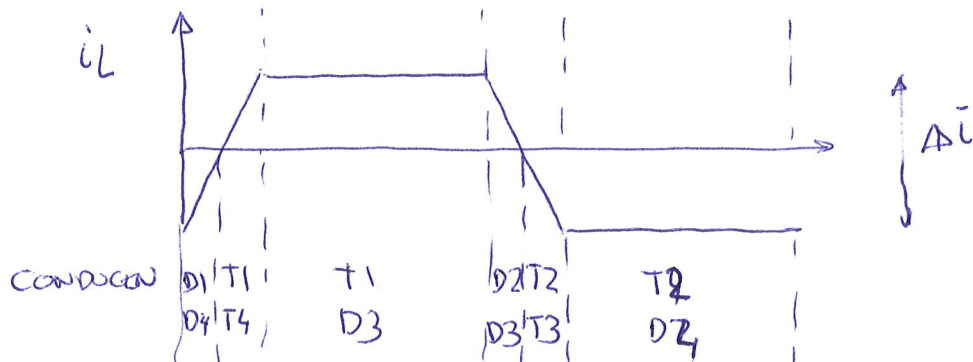


$$f = 800 \text{ Hz}$$

$$T = 1,25 \text{ ms}$$

IGBTs Dispositivos

T1	T1	T2	T2
T4	T3	T3	T4



CONDUCEN

D1/T1	T1	D2/T2	T2
D4/T4	D3	D3/T3	D2

c)

$$\Delta i = \frac{U_e}{L} \Delta t$$

Hay que obtener Δt en función de U_e

$$U_{s,EF} = U_e \sqrt{\frac{\Delta t}{T/2}} \Rightarrow \Delta t = \left(\frac{U_{s,EF}}{U_e} \right)^2 \frac{T}{2}$$

Por tanto, el ripple (y el valor de pico), se pueden poner en función de U_e :

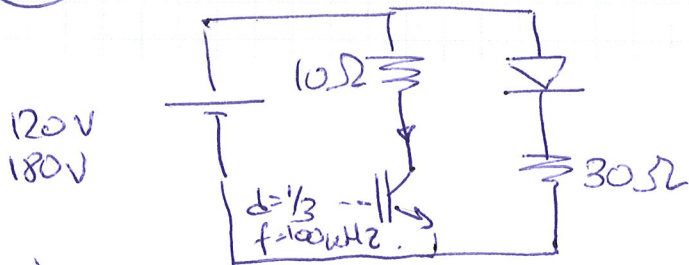
$$i_{pico} = \frac{\Delta i}{2} = \frac{U_e}{2L} \left(\frac{U_{s,EF}}{U_e} \right)^2 \frac{T}{2} = \frac{U_{s,EF}^2}{4L f} \frac{1}{U_e}$$

$$i_{pico} = 50,625 \frac{1}{U_e}$$

$$i_{pico, \max} = 0,42 \text{ A}$$

($U_e = 120V$)

III



a) El peor caso de disipación será para $V_E = 180V$.



$$I_{IGBT, MAX} = \frac{180}{10} = 18A$$

$$I_{IGBT, MED} = 6A$$



$$I_D = \frac{180}{30} = 6A$$

$$P_{Diodo} = V_f \cdot I_M + r_d \cdot I_{CP}^2 = 1 \cdot 6 + 0 = 6W \quad (\text{constante})$$

$$P_{IGBT} = V_{CE, SAT} \cdot I_M = 2 \cdot 6 = 12W \quad (P_{MAX} = 36W)$$

b) Diodo

$$T_{J, MAX} = T_A + R_{\theta UC} \cdot P + R_{\theta CR} \cdot P + R_{\theta RA} \cdot P$$

$$130 = 30 + 6 (1 + 0 + R_{\theta RA}) \Rightarrow R_{\theta RA} = 15,6^\circ C/W$$

IGBT
(A.F)

$$T_{J, MAX} = T_A + R_{\theta UC} \cdot P_{MED} + R_{\theta CR} \cdot P_{MED} + R_{\theta RA} \cdot P_{MED}$$

$$130 = 30 + 1 \cdot 12 + 0 + R_{\theta RA} \cdot 12 \Rightarrow R_{\theta RA} = 7,3^\circ C/W$$

c)

$$T_{J, MAX} = T_A + R_{\theta UC} \cdot P_{IGBT} + R_{\theta CR} \cdot P + R_{\theta RA} (P_D + P_{IGBT})$$

(El IGBT está peor)

$$130 = 30 + 1 \cdot 12 + 0 + R_{\theta RA} (6 + 12)$$

$$R_{\theta RA} = 4,8^\circ C/W$$

IV

Formas de onda (ver hoja anexo)

(U_s)

Carga R.

$$U_s = \frac{230\sqrt{2}}{2\pi/3} \int_{\pi/2}^{\pi} \sin(\omega t) d(\omega t) = \underline{155,3 \text{ V}}$$

carga RL se puede asumir corriente constante y que $Z = \frac{L}{R} = 80 \text{ ms}$ y el periodo de U_s es $6,6 \text{ ms}$.

por tanto $U_s = \frac{3 \cdot 230\sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} \cdot \cos d = \underline{134,5 \text{ V}}$

$\uparrow$
 60°

carga RL + Diodo LC.

La tensión es idéntica al caso resistiva y por tanto

$$U_s = \underline{155,3 \text{ V}}$$

carga Batería + R

$$U_s = \frac{1}{2\pi/3} \left[230\sqrt{2} \int_{\pi/2}^{5\pi/6} \sin(\omega t) d(\omega t) + 162,5 \int_{5\pi/6}^{7\pi/6} d(\omega t) \right] = \underline{215,7 \text{ V}}$$

(i_s)

carga R

$$i_{\text{pico}} = \frac{230\sqrt{2}}{10} = 32,5 \text{ A}$$

carga RL

$$i = \frac{134,5}{10} = 13,45 \text{ A}$$

carga RL + Diodo LC

$$i = \frac{155,3}{10} = 15,53 \text{ A}$$

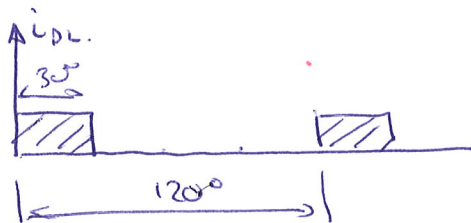
carga batería + R

$$i_{\text{pico}} = \frac{230\sqrt{2} - 162,5}{10} = 16,2 \text{ A}$$

b) F.P. carga RL

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{U_{S, MED} \cdot I}{3 \cdot U_{e, EF} \cdot I_{e, EF}} = \frac{134,5 \cdot 13,45}{3 \cdot 230 \cdot (13,45 \sqrt{1/3})} = \underline{0,33}$$

c) El diodo de libre circulación conduce 30° una corriente de $15,53A$ en cada tramo de 120° .



$$I_{MEDIA} = \frac{15,53}{4} = 3,88A$$

$$I_{EF} = 15,53 \sqrt{\frac{1}{4}} = 7,76A.$$

$$P = V_g \cdot I_M + r_d \cdot I_{EF}^2 = 1 \cdot 3,88 + 0,05 \cdot 7,76^2 = \underline{6,89W}$$

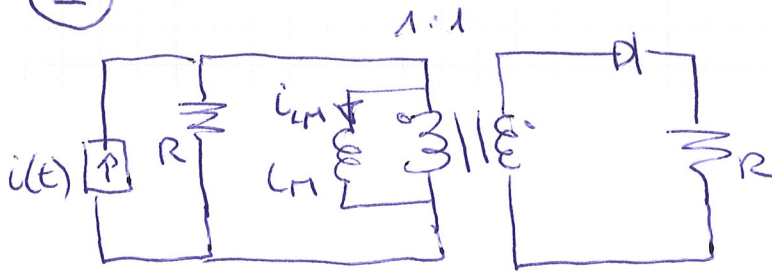
d) la corriente media por la batería es:

$$I_{BAT, MED} = \frac{U_{S, MED} - U_{BAT}}{R} = \frac{215,7 - 162,5}{10} = 5,32A.$$

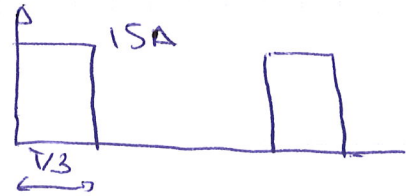
Para cargar una batería de $50A \cdot h$ hacen falta:

9h 24m

⑤

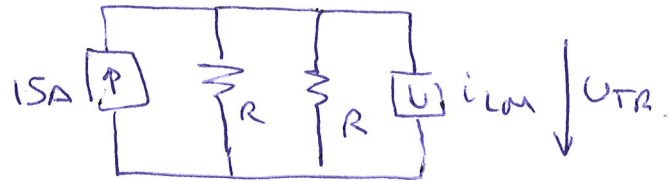


$i(t)$

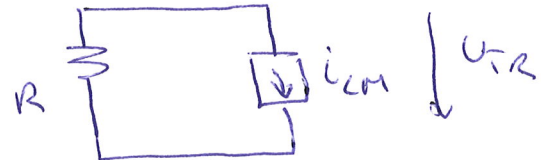


1

→ circ. equiv I



circ. equiv II

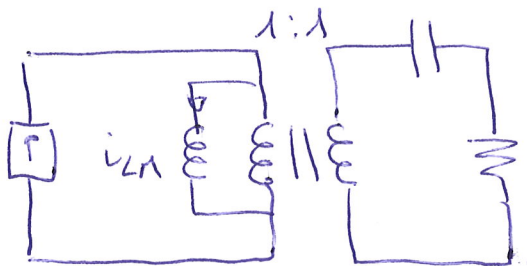


Haciendo balance en el transformador:

$$(15 - i_{Lm}) \frac{R}{2} \frac{T}{3} + (-i_{Lm}) R \frac{2T}{3} = 0$$

$$\boxed{i_{Lm} = 3A}$$

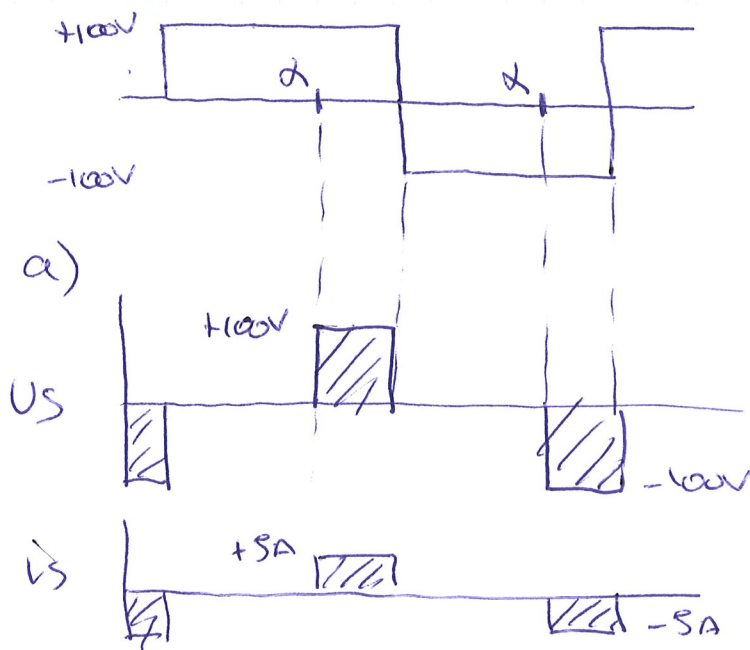
2



Al tener un condensador en serie con el secundario, el valor medio de la corriente por la parte ideal del transformador es cero. Por tanto

$$\boxed{i_{Lm} = 5A}$$

VI

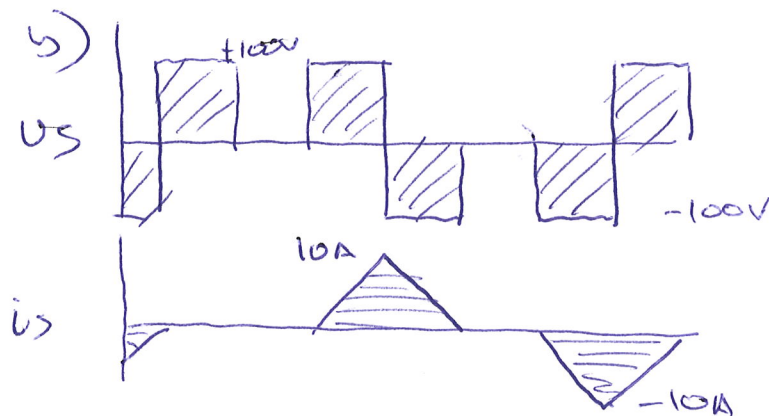


$$f = 50 \text{ kHz}$$

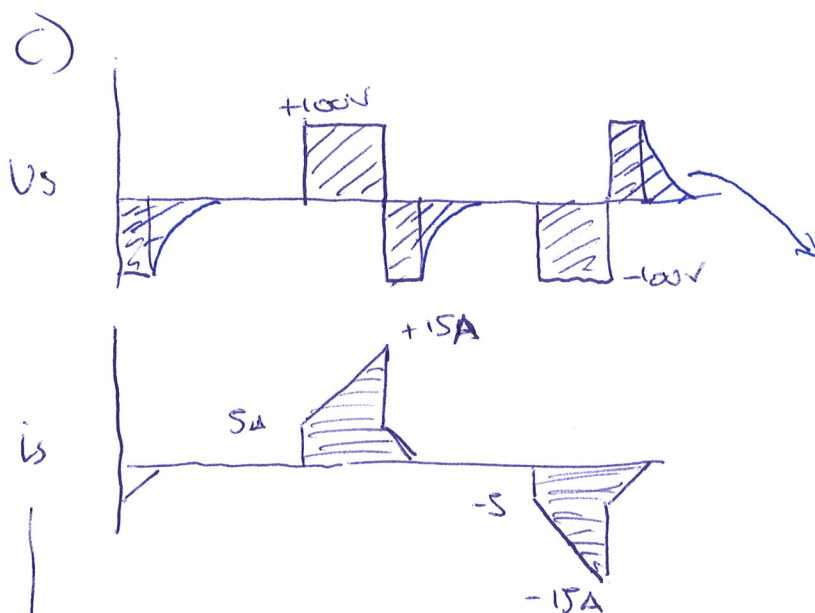
$$T = 20 \text{ ms}$$

$$T_{1/2} = 10 \text{ ms}$$

$$P_R = \frac{100^2}{20} \cdot \frac{1}{3} = 166 \text{ W}$$



$$i_{\text{pico}} = \frac{U}{L} t = \frac{100}{33,3 \cdot 10^{-3}} \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ A}$$



Este último intervalo es una exponencial que resulta de tener una bobina cargada y una resistencia en paralelo



Note: - i_s es la resultante de i_p e i_L , la que circula por el generador