

Asignatura: Electrónica Industrial (202)
 Parte I

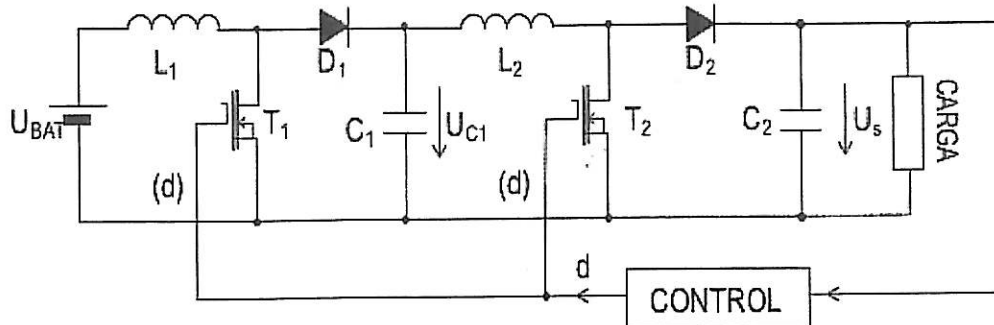
Especialidad: Ing.Eléctrica 4ºGITI
 Publicación de notas: 07/02/18 Revisión de examen: 12/02/18

Fecha: 24/01/2018

DURACIÓN: 1h 10min

PROBLEMA 1 (5 puntos)

El montaje de la figura consiste en dos convertidores dc-dc tipo elevador conectados en cascada y cuyo ciclo de trabajo (d) es el mismo para ambos. Los transistores MOSFET del circuito conmutan a una frecuencia de 100kHz.



$U_{BAT}=24V$
 $U_s=600V$
 $F_c=100kHz$
 Carga $R=300\Omega$

- Calcular la tensión de salida (U_s), en función de la tensión de entrada (U_{BAT}) y el ciclo de trabajo (d). Indicar el ciclo de trabajo para dar una tensión de salida de 600V.
- Calcular el valor de la tensión en C_1 y la corriente media en las bobinas L_1 y L_2 .
- Se quiere optimizar el **rendimiento** del convertidor y para ello haya que elegir los semiconductores y las bobinas entre las opciones disponibles de la tabla adjunta donde se muestran sus principales características. Elegir justificadamente qué componentes emplearía para T_1 , T_2 , D_1 , D_2 , L_1 y L_2 (se recomienda comenzar eligiendo las bobinas).
- Para el diseño elegido, calcular el rendimiento de la conversión.
- Para el diseño elegido, calcular el valor del condensador C_2 para que su rizado de tensión pico a pico máximo sea igual a 0,5V.

Nombre	Tipo	Tensión U_{DS} máxima (V)	Corriente I_{DS} máxima (A)	R_{ds} ($m\Omega$)
T_A	MOSFET	800	20	150
T_B	MOSFET	800	10	300
T_C	MOSFET	400	100	60
T_D	MOSFET	200	60	40
T_E	MOSFET	200	20	120
Nombre	Tipo	Tensión inversa máx. (V)	Corriente I_{AK} máxima (A)	V_γ (V) y r_d ($m\Omega$)
D_A	DIODO	800	40	1,5V – 100m Ω
D_B	DIODO	800	20	2V – 200m Ω
D_C	DIODO	200	80	1V – 50m Ω
D_D	DIODO	200	60	0,8V – 100m Ω
D_E	DIODO	100	60	0,7V – 50m Ω
Nombre	Tipo	Inductancia (μH)	Corriente máxima (A)	R_{dc} ($m\Omega$)
L_A	BOBINA	2	100	100
L_B	BOBINA	2	60	50
L_C	BOBINA	500	100	10
L_D	BOBINA	2000	20	1000

PROBLEMA 2 (5 puntos)

A partir de una batería de 48V, se desea generar una onda cuadrada alterna de valor eficaz controlable para alimentar a una carga resistiva de valor $R=10\Omega$. Esta carga se acopla al inversor mediante un transformador de relación de vueltas 1:n cuya inductancia magnetizante referida al primario es igual a 1 mH. La frecuencia de la tensión alterna es de 20kHz y el valor eficaz de la tensión de salida debe estar entre 600 y 800V (800V es el caso nominal).

Después de un análisis de diversas opciones se decide utilizar un inversor en puente completo y con control por fase desplazada. Los interruptores de potencia son IGBTs que, en un primer momento, pueden considerarse ideales.

- Calcular la relación de vueltas del transformador y la variación del ángulo de solape de los disparos sabiendo que para el caso nominal ($U_{S,EF}=800V$), el ángulo de solape debe ser 120° .
- Para el caso nominal, dibujar la tensión y la corriente por la carga
- Dibujar la corriente por el primario del transformador (no olvidar que hay inductancia magnetizante) e indicar por donde circula en cada tramo. Justificar si la corriente magnetizante puede ser despreciada.
- Si ahora se considera que la batería puede bajar su tensión hasta 36V cuando decrece apreciablemente su estado de carga, calcular las pérdidas de potencia que se producen en los IGBTs en el peor caso de tensión de salida y tensión de batería. Asumir que los IGBTs presentan una caída de tensión en conducción $U_{CE,SAT}$ igual a 3V.
- Considerando la caída de tensión en los IGBTs del apartado anterior y con el transformador del apartado a, calcular la máxima tensión eficaz que podría entregar el inversor a su salida.

Asignatura: Electrónica Industrial (202)

Especialidad: Ing.Eléctrica 4ºGITI

Fecha: 24/01/2018

Parte II

Publicación de notas: 07/02/18 Revisión de examen: 12/02/18

DURACIÓN 1h 15min

PROBLEMA 3 (4 puntos)

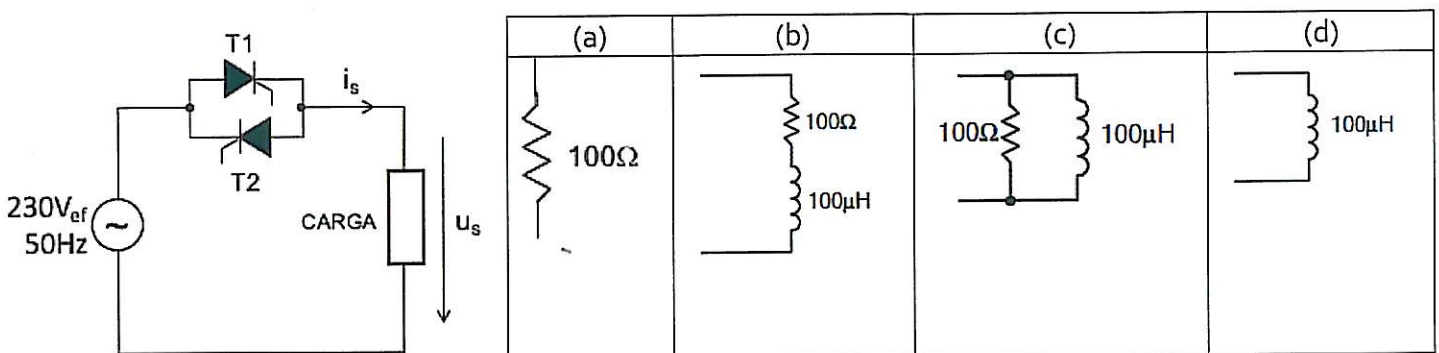
Un rectificador trifásico de doble onda totalmente controlado se alimenta desde una red trifásica de 230/398V eficaces y 50Hz. El rectificador alimenta el motor de continua de un vehículo que cuyo equivalente eléctrico está compuesto por una fuente de tensión U_M , en serie con una bobina L y una resistencia R . A este motor se le hace girar a una velocidad angular constante de 200 rpm lo que hace que la tensión U_M sea siempre igual a 50V; la bobina L vale 200mH y la resistencia $0,5\Omega$.

Según va variando la pendiente del terreno por donde circula el vehículo, el control del rectificador cambia el ángulo de disparo de los tiristores α para mantener la velocidad constante de 200rpm. Este ángulo de disparo varía entre 30° y 120° .

- Dibujar la forma de onda de tensión y corriente en el motor para el caso de $\alpha=60^\circ$
- Calcular la corriente que consume el motor en los casos de $\alpha=30^\circ$, $\alpha=90^\circ$ y $\alpha=120^\circ$
- Para estos tres mismos casos indicar la potencia que consume el motor y la potencia disipada en los tiristores del rectificador ($V_\gamma=2V$, $r_d=0\Omega$).
- Todos los tiristores se montan en un mismo radiador y se desea calcular el mismo para el peor caso de disipación de potencia. Calcular su resistencia térmica ($T_A=30^\circ C$, $T_{U,MAX}=150^\circ C$, $R_{\theta UC}=1^\circ C/W$, $R_{\theta CR}=0^\circ C/W$). Para la resistencia térmica unión-cápsula, asumir régimen de baja frecuencia.

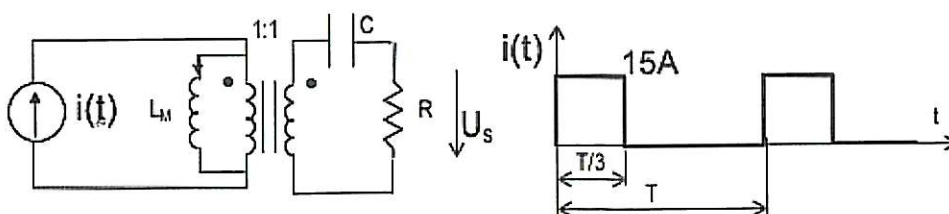
PROBLEMA 4 (4 puntos)

En el regulador de alterna de la figura, los tiristores se disparan con $\alpha=60^\circ$ para diferentes cargas que pueden verse en la figura. Para los 4 casos, dibujar la tensión y la corriente por la carga i_s



PROBLEMA 5 (2 puntos)

Para el circuito de la figura, dibujar la corriente magnetizante, la tensión en el transformador y la tensión de salida. Puede asumirse que la inductancia magnetizante es de alto valor y tiene un rizado de corriente despreciable y que el condensador es también de alto valor y tiene un rizado de tensión también despreciable.



(1)

$$a) \quad U_{C1} = \frac{U_{BAT}}{1-d} \quad U_S = \frac{U_{C1}}{1-d}$$

$$U_S = \frac{U_{BAT}}{(1-d)^2} \quad 600 = \frac{24}{(1-d)^2} \Rightarrow d = \frac{4}{5} \quad (80\%)$$

b)

$$U_{C1} = \frac{24}{1-\frac{4}{5}} = 120V$$

La potencia de salida es $\frac{U_S^2}{R} = \frac{600^2}{300} = 1200W$

\Rightarrow por balance de potencias:

$$i_{L1} = \frac{P_S}{U_{BAT}} = \frac{1200}{24} = 50A$$

$$i_{L2} = \frac{P_S}{U_{C1}} = \frac{1200}{120} = 10A$$

c) BOBINAS: en principio es deseable que la bobina tenga una resistencia pequeña para reducir sus pérdidas $R_{dc} \cdot I_{eff}^2$ pero también hay que considerar que si su inductancia es baja, de mucho rizado, eso aumenta las pérdidas en los semiconductores, y en la propia bobina.

* Para (L_1) : $i_{L1,med} = 50A$ } con $L = 2\mu H \Rightarrow \Delta i_{L1} = 96A$
 $U = L \frac{di}{dt} \Rightarrow di = \frac{U \cdot d}{L \cdot f}$ } con $L = 500\mu H \Rightarrow \Delta i_{L1} = 0,38A$

- L_0 no puede ser pq es de 20A.
 - L_3 tampoco pq con su inductancia el valor de pico de corriente es mayor que su corriente máxima.
 - L_A tampoco pq tiene menor inductancia (mayor corriente eficaz) y mayor R_{dc} .
- Por tanto se elige L_C

* Para (L_2) :

$$i_{L_2, \text{med}} = 10 \text{ A}$$

$$\Delta i = \frac{U \cdot d}{L f}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{con } L = 2 \mu\text{H} \Rightarrow \Delta i_{L_2} = 480 \text{ A} \\ \text{con } L = 500 \mu\text{H} \Rightarrow \Delta i_{L_2} = 1,92 \text{ A} \\ \text{con } L = 2000 \mu\text{H} \Rightarrow \Delta i_{L_2} = 0,48 \text{ A} \end{array} \right\}$$

- L_A y L_B quedan descartadas por el alto rizado.
- L_C y L_D ofrecen rizados pequeños aunque algo más grandes en el caso de L_C ; sin embargo L_D presenta una resistencia 100 veces mayor, produciendo muchos más pérdidas por este razón que por el rizado

Por tanto se elige L_C

DIODOS

Para (D_1) - Su tensión inversa es 120V \Rightarrow descarte D_E

- su corriente es de 50A \Rightarrow descarte D_B

- D_A también queda descartado por tener peores características que D_C y D_D .

entre D_C y D_D hay que ver cual tiene menores pérdidas:

$$P = V_f \cdot I_{\text{MED}} + r_d \cdot I_{\text{ef}}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} D_C: P = 1 \cdot \frac{50}{5} + 0,05 \cdot (50 \cdot \sqrt{0,2})^2 = 35 \text{ W} \\ D_D: P = 0,8 \cdot \frac{50}{5} + 0,1 \cdot (50 \sqrt{0,2})^2 = 58 \text{ W} \end{array} \right.$$

Respectando el rizado de corriente \uparrow se elige D_C

Para (D_2) - Sólo puede elegirse D_A o D_B porque soportan 600V de tensión inversa.

- entre ambos D_A tiene mejores características.

Se elige D_A

MOSFET

Para (T_2) - La decisión está entre T_A y T_B por la tensión de bloqueo que es de 600V

- T_A es mejor pq tiene una menor R_{ds} .

Se elige T_A

Para (T_1) - Todos los MOSFET valen por tensión pero por corriente solo T_c y T_D

- T_D tiene menor R_{ds} . Se elige T_D

d) Rendimiento: $P_s = 1200W$

$$(T_0) P_{T1} = R_{ds} \cdot I_{ef}^2 = 0,040 (50\sqrt{0,8})^2 = 80W$$

$$(T_A) P_{T2} = R_{ds} \cdot I_{ef}^2 = 0,150 \cdot (10\sqrt{0,8})^2 = 12W$$

$$(D_c) P_{D1} = V_g \cdot I_{med} + r_d \cdot I_{ef}^2 = 1 \cdot \frac{50}{5} + 0,05 (50\sqrt{0,2})^2 = 35W$$

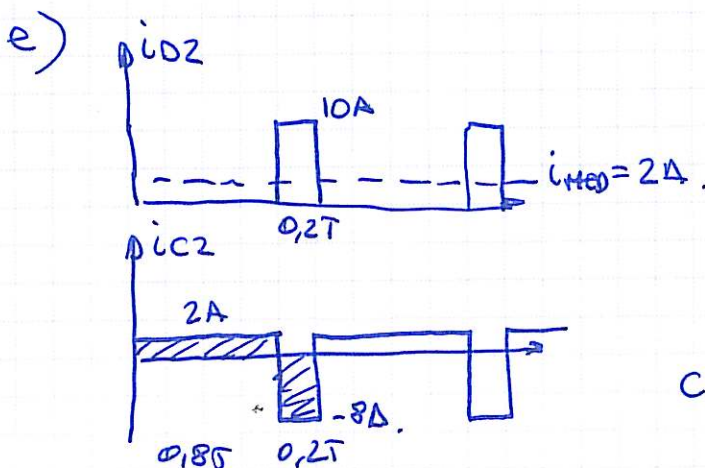
$$(D_A) P_{D2} = V_g \cdot I_{med} + r_d \cdot I_{ef}^2 = 1,5 \cdot \frac{10}{5} + 0,1 (10\sqrt{0,2})^2 = 5W$$

$$(L_c) P_{L1} = R_{Dc} \cdot I_{ef}^2 = 0,010 \cdot 50^2 = 25W$$

$$(L_c) P_{L2} = R_{Dc} \cdot I_{ef}^2 = 0,010 \cdot 10^2 = 1W$$

Nota.- para las pérdidas en los componentes resistivos, se ha despreciado el rizado ya que las inductancias elegidas lo permiten

$$P_{TOTAL} = 138W \Rightarrow \eta = \frac{P_s}{P_s + P_{TOTAL}} \cdot 100 = \frac{1200}{1358} \cdot 100 = 88,3\%$$

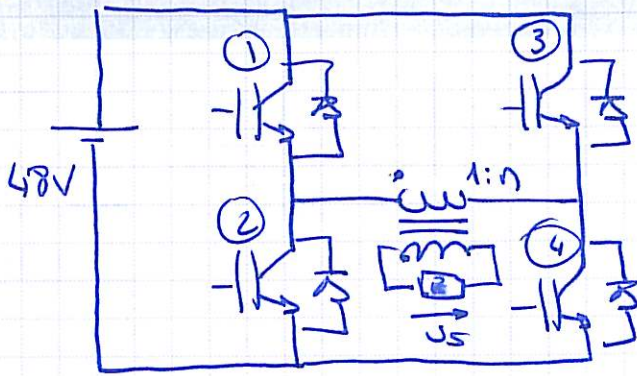


$$i = \frac{C \Delta V_C}{\Delta t}$$

$$C = \frac{I \cdot \Delta t}{\Delta V_C}$$

$$C = \frac{2 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{0,5} = 32 \mu F$$

2



$$U_{BAT} = 48V$$

$$R = 10\Omega$$

$$T_{rafo} = 1:n$$

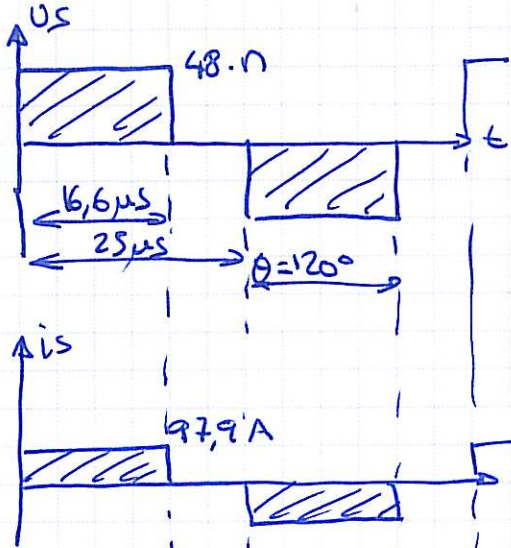
$$f_c = 20kHz$$

a)

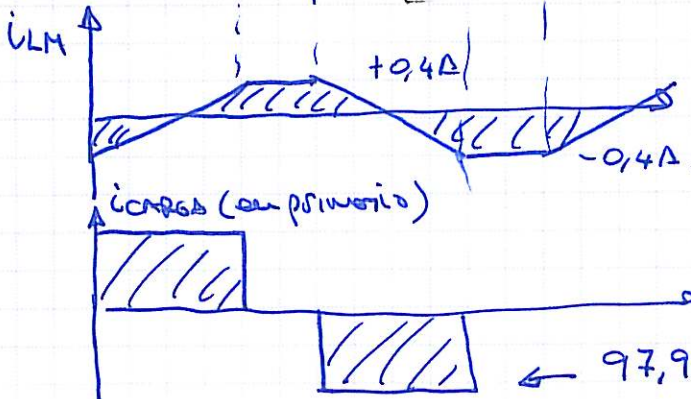
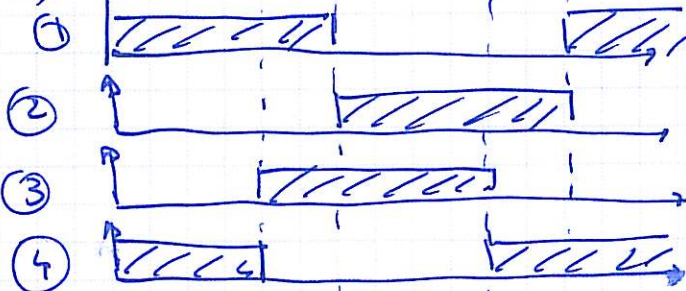
$$U_{s,CF} = 48 \cdot n \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} = 800V$$

$$\Rightarrow n = 20,412$$

b)



c)



$$\Delta i_{LM} = \frac{48 \cdot 6,6 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}} = 0,8A$$

Se puede desprender i_{LM} .

$$\leftarrow 97,9 \times 20,41 \approx 2000A$$

d)

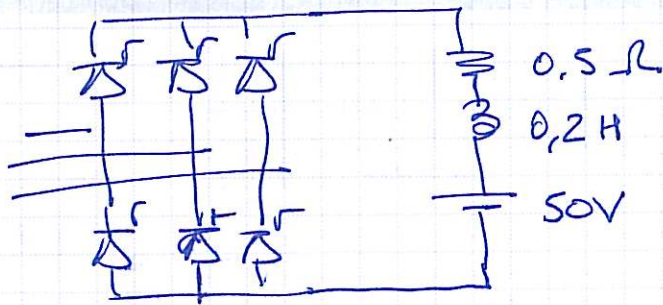
Si $U_{BAT} = 36V$

$$U_{S,EF} = 800V = 36 \cdot n \sqrt{\frac{\theta}{\pi}} \Rightarrow \theta = 213^\circ \text{ No es posible obtener } 800V \text{ eficaces en la salida.}$$

e) con $\theta = 180^\circ \Rightarrow U_S = 36 \cdot n \approx 73kV$.

Considerando la $U_{CE,SAT} \Rightarrow U_S = (U_{BAT} - 2 \cdot U_{CE,SAT}) \cdot n = 612V$

3



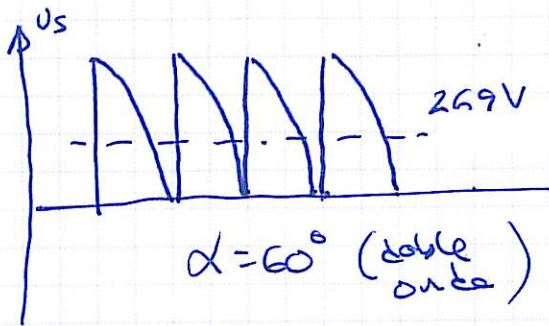
$$30^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$$

$$T_s = \frac{\phi}{f \cdot \frac{1}{6}} = \frac{T_{RED}}{6} = \frac{20ms}{6} = 3,33ms$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0,2}{0,5} = 400ms$$

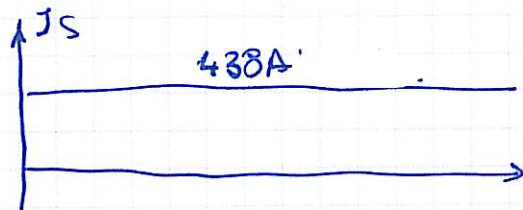
⇒ carga inductiva (muy inductiva)

a)



$$U_{s, MED} = \frac{n E_p}{\pi} \text{sen} \frac{\pi}{n} \cdot \cos \alpha$$

$$\left. \begin{array}{l} n=6 \\ E_p = 230\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \\ \alpha = 60^\circ \end{array} \right\} U_{s, MED} = 269V$$



$$I_s(\text{cte}) = \frac{U_{s, MED} - U_M}{R} = 438A$$

b)

$$\alpha = 30^\circ \quad U_{s, MED} = 465V \quad I_s = 830A$$

$$\alpha = 90^\circ \quad U_{s, MED} = 0V \quad I_s = -100A$$

$$\alpha = 120^\circ \quad U_{s, MED} = -269V \quad I_s = -638A$$

El rectificador no permite corriente negativa. No es posible esta situación en régimen permanente. Lo que sí puede ocurrir es que haya momentos con α que de U_s negativa y se recupere energía pero sólo hasta que I_s se haga = 0.

c) El caso de mayor corriente corresponde con la máxima $U_{s, MED}$ y ésta se da con $\alpha = 30^\circ$.

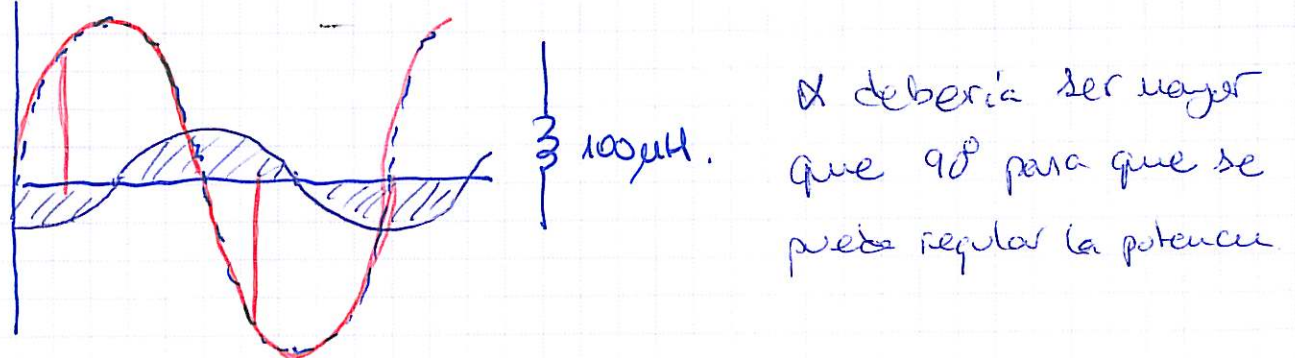
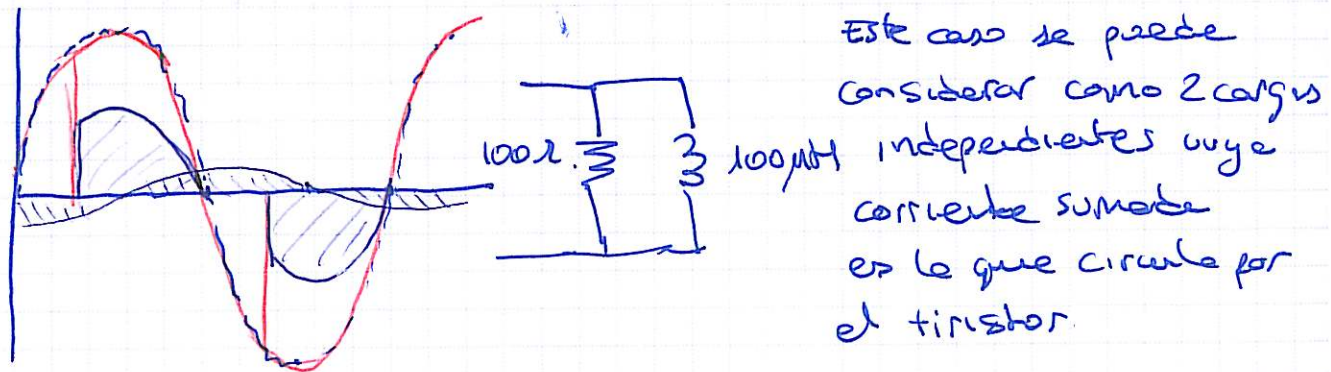
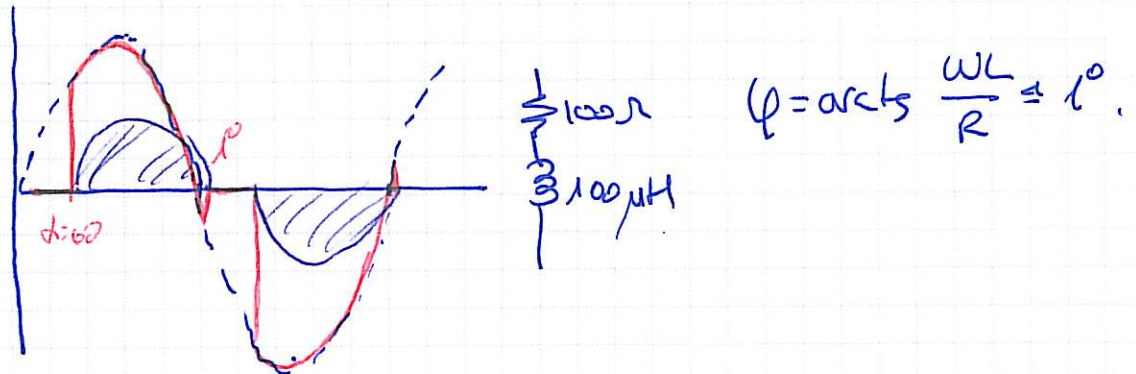
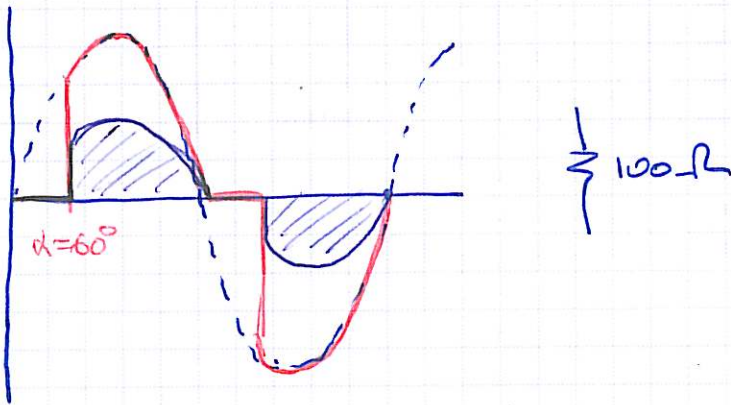
$$P_s = 465V \cdot 830A \approx 386kW$$

$$P_{\text{TRISTOR}} = V_g \cdot I_{\text{media TRISTOR}} + r_{\text{TR}} \cdot I_{\text{eff}}^2 = 2 \cdot \frac{830^2}{3} = 553W$$

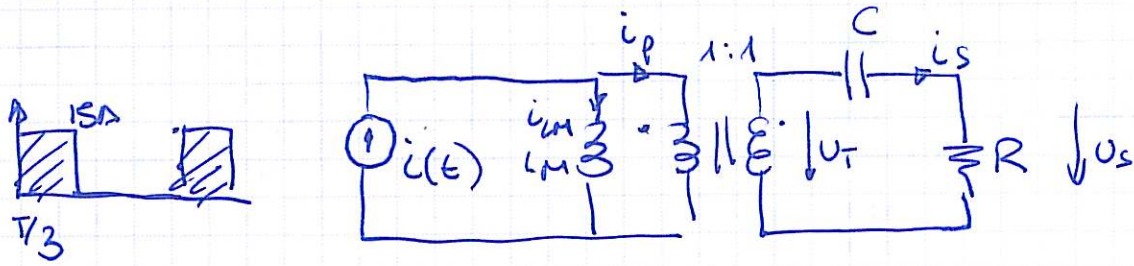
d) No existe radiador posible ya que solo la cond. de temperatura - tura unión - capsula ya supera la T_{MAX}

$$\Delta T_{UC} = R_{\theta UC} \cdot P_{MAX \text{ TRISTOR}}$$

4

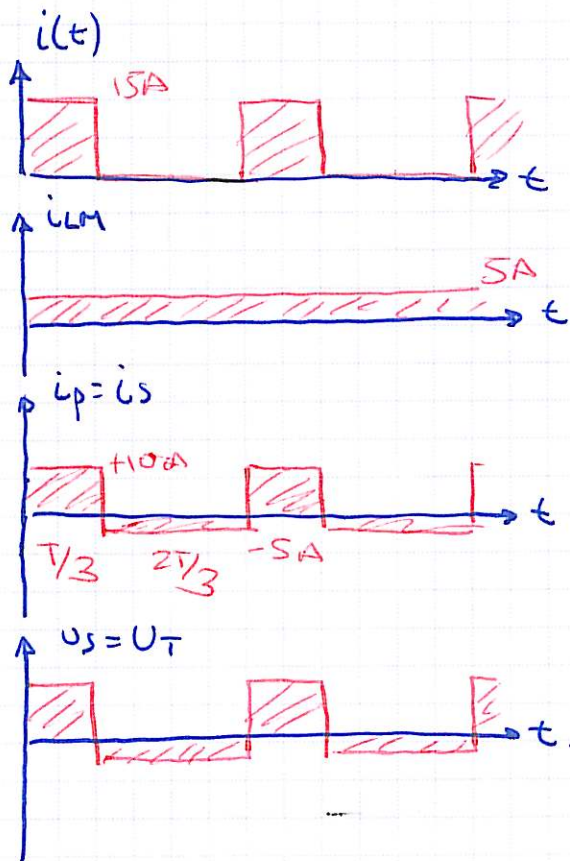


5



$i_{s,med} = 0$ por el C $\Rightarrow U_{s,med} = 0$.

$i_p = i_s$ e i_{LM} es cte \Rightarrow $\left. \begin{array}{l} i_{LM} \text{ lleva el valor medio de } i(t) \\ i_p \text{ lleva el valor alterno de } i(t) \end{array} \right\}$



Como C es muy grande, su rizado es despreciable y por tanto $U_T = U_s$