

Asignatura: Electrónica Industrial  
Especialidad: Electricidad (1274)

Fecha: 26/11/2010  
Seguimiento

### EJERCICIO 1. (4 puntos)

Un rectificador trifásico de doble onda totalmente controlado se alimenta desde la red trifásica 230/398V 50Hz mediante un transformador estrella-estrella de relación 2:1. Este rectificador alimenta un motor de continua cuyo equivalente eléctrico es una fuente de tensión continua ( $U_m$ ) en serie con una inductancia ( $L$ ) y una resistencia ( $R$ ). Los tiristores se disparan con un ángulo  $\alpha$  igual a  $60^\circ$ .

- 26 NOV 2010.
- Forma de onda de la tensión en la carga. Calcular su valor medio.
  - Forma de onda de corriente por una de las fases del transformador. Calcular su valor eficaz.
  - Calcular la potencia entregada al motor, la potencia disipada por los tiristores y el rendimiento del rectificador.
  - ¿Puede este circuito devolver energía a la red alterna? Indicar en qué circunstancias.

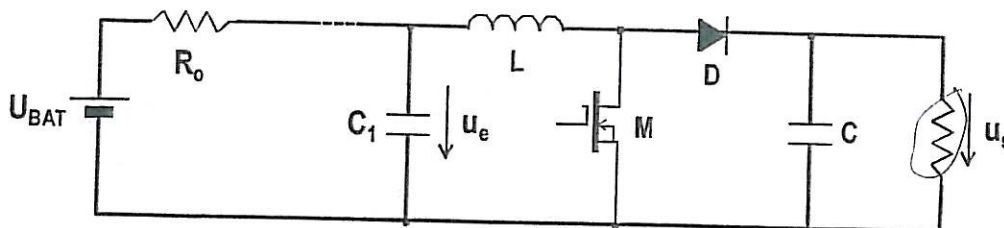
Datos:

Motor	Tiristores
$U_M=100V$	$V_\gamma=2V$
$L=300mH$	$r_d=0,1\Omega$
$R=1\Omega$	

### EJERCICIO 2. (4 puntos)

En el convertidor CC/CC elevador de la figura, todos los componentes pueden ser considerados como ideales. Los elementos reactivos se pueden suponer suficientemente grandes como para que no exista rizado de tensión en los condensadores ni de corriente en la bobina. El convertidor mantiene regulada  $U_s$  igual a 48V.

- 18 NOV 2011
- Con  $R_o=0\Omega$  calcular:
    - La variación de ciclo de trabajo
    - Máxima corriente de pico y eficaz en  $D$  y  $M$ .
    - Máxima tensión soportada por  $D$  y  $M$ .
  - Si la fuente presenta una impedancia  $R_o=0,2\Omega$ , calcular:
    - El ciclo de trabajo máximo
    - Las pérdidas de potencia en  $R_o$ .



Datos:

$$16V \leq U_{BAT} \leq 32V \text{ (nominal 24V)} \quad 12\Omega \leq R \leq 48\Omega$$

2

### Convertidor elevador

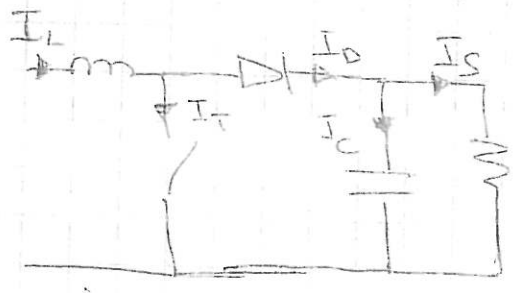
a1)  $U_s = \frac{U_e}{1-d} \Rightarrow d = 1 - \frac{U_e}{U_s}$

$U_e = 16V \Rightarrow d = 0'66$   
 $U_e = 32V \Rightarrow d = 0'33$

a2)  $I_s = \frac{U_s}{R}$

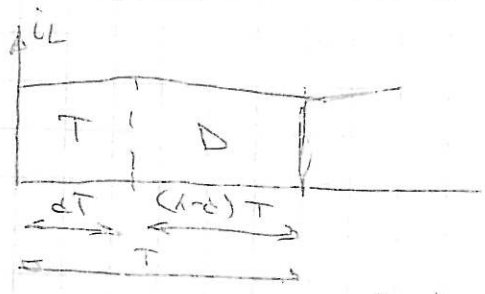
$R = 48\Omega \Rightarrow I_s = 1A$   
 $R = 12\Omega \Rightarrow I_s = 4A$

Aplicando leyes de Kirchoff en valores medios.



$I_{D, MED} = I_{C, MED} + I_{s, MED} = I_{s, MED} = 4A$  (por caso)

y en la bobina:  
 $I_{L, MED} = I_{T, MED} + I_{D, MED}$



$I_{L, PICO} = I_{T, PICO} = I_{D, PICO}$

$I_{T, MED} = I_{L, MED} \cdot d$   
 $I_{D, MED} = I_{L, MED} \cdot (1-d)$

Por tanto  $I_{L, MED} = \frac{I_{D, MED}}{1-d}$

(y tambien  $I_{L, PICO}$  en este caso)

$\frac{12A}{1-0'66} = 12A$   
 $\frac{6A}{1-0'33} = 6A$

$I_{T, PICO} = I_{D, PICO} = 12A$

$I_{T, EF} = I_{L, MED} \sqrt{d} = \frac{I_{D, MED}}{1-d} \cdot \sqrt{d} = 9,8A$  (por caso  $d = 0'66$ )

$I_{D, EF} = I_{L, MED} \sqrt{1-d} = \frac{I_{D, MED}}{1-d} \sqrt{1-d} = 6,9A$  (por caso  $d = 0'66$ )

a3)  $U_{T, MAX} = U_{D, MAX} = U_s = 48V$

b.1)  $U_e = U_{BAT} - R_o I_{BAT}$

Se puede resolver de forma aproximada asumiendo  $I_{BAT} = I_L$  obtenida en el apartado anterior, pero no tiene en cuenta de el  $d$  será mayor y por tanto tambien  $I_{BAT}$ . El peor caso sigue siendo  $U_{BAT} = 16V$ .

$U_e = 16 - 0,2 \cdot \frac{12}{I_L} = 13,6V \Rightarrow d = 0,716$

De igual forma se puede calcular a partir de  $P_S$ :

$$P_S = \frac{U_S^2}{R} = \frac{48^2}{12} = 192 \text{ W} \quad (\text{peor caso})$$

$$\Rightarrow I_{BAT} = \frac{P_S}{U_{BAT}} = \frac{192}{16} = 12 \text{ A} \quad \text{pero tampoco tiene en cuenta la potencia en } R_0$$

Para hacer la cuenta exacta habría que incluir esas pérdidas.

$$P_E = P_{R_0} + P_S \Rightarrow U_{BAT} \cdot I_{BAT} = I_{BAT}^2 \cdot R_0 + \frac{U_S^2}{R}$$

Resolviendo la ecuación se obtienen 2 valores de los cuales uno no es posible.

$$I_{BAT} = 14,72 \text{ A} \quad (\text{en lugar de } 12 \text{ A})$$

$$\Rightarrow U_e = 16 - 14,72 \cdot 0,2 = 13,05 \text{ V}$$

$$\Rightarrow d = 0,728$$

b.2)

$$P_{R_0} = R_0 I_{BAT}^2$$

Solución aprox

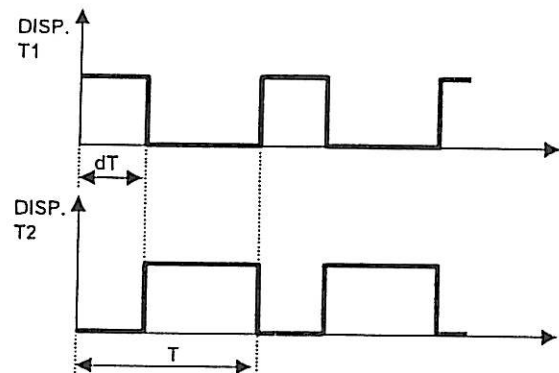
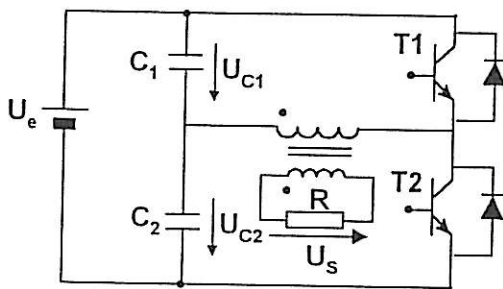
$$\Rightarrow 28,8 \text{ W}$$

Solución real

$$43,3 \text{ W}$$

La  $R_0$  tiene mucha influencia en las pérdidas y en la corriente, aunque no tanto en el ciclo de trabajo.

3. En el circuito de la figura, una carga resistiva se alimenta desde una batería. Los transistores del circuito se disparan de forma complementaria como se muestra en el dibujo. Los condensadores  $C_1$  y  $C_2$  se consideran suficientemente grandes para asegurar la tensión sin rizado en ellos, y el transformador puede considerarse ideal.
- Calcular la tensión en los condensadores  $C_1$  y  $C_2$  en función del ciclo de trabajo del disparo  $d$ .
  - Dibujar la forma de onda de la tensión de salida  $U_s$  para  $d=0,75$ .
  - Obtener la potencia de salida en función del ciclo de trabajo  $d$ .
  - Suponiendo un transformador con inductancia magnetizante, dibujar la forma de onda del flujo en el transformador para  $d=0,75$ .

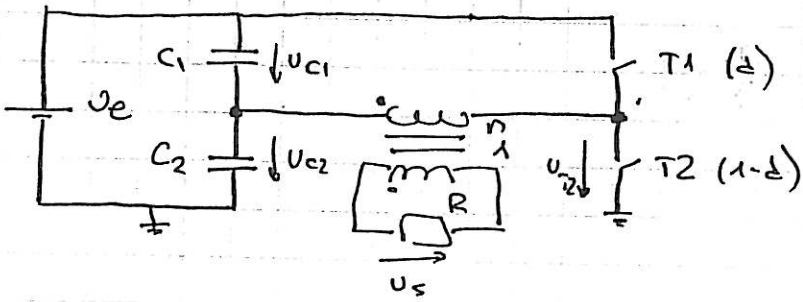


(3 puntos)

4. a) Decir los límites que presenta el área de funcionamiento seguro de un MOSFET.  
b) Enumerar las formas de disparo de los tiristores.

(1 punto)

3

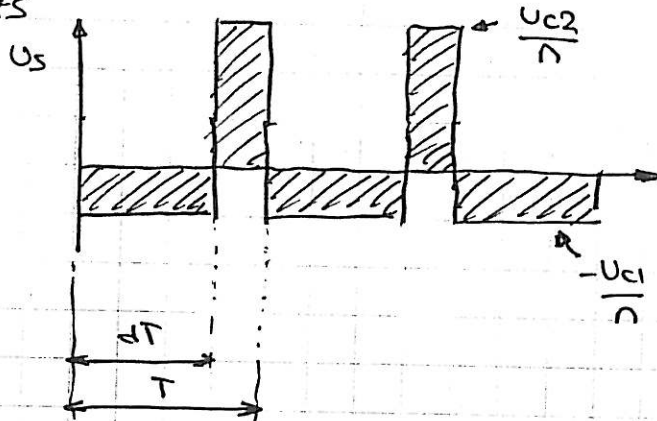


a) Cuando se dispara T1,  $U_A$  vale  $U_e$  y cuando lo hace T2 vale 0V.  
 Por lo tanto,  $U_{A, MEDIO} = \frac{U_e dT + 0 \cdot (1-d)T}{T} \Rightarrow U_{A, MEDIO} = U_e d$

Como  $U_{TR, MEDIO} = 0 \Rightarrow U_{C2, MEDIO} = U_{A, MEDIO} = U_e d$ .

$$\begin{aligned} U_{C2} &= U_e d \\ U_{C1} &= U_e (1-d) \end{aligned}$$

b) si  $d = 0.75$

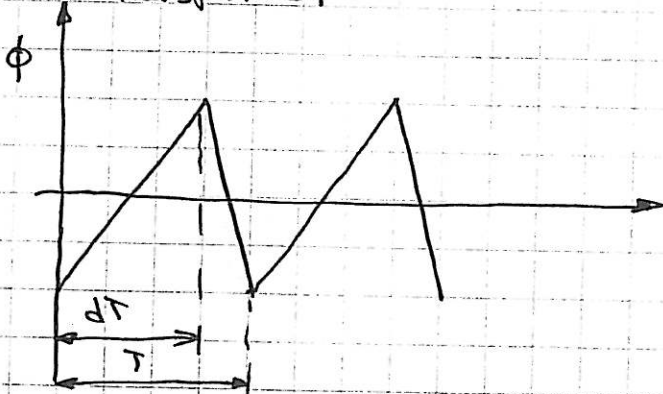


con T1 disp  $\Rightarrow U_s = \frac{U_{C1}}{n}$   
 con T2 disp  $\Rightarrow U_s = \frac{U_{C2}}{n}$

c) Potencia de salida:

$$P(d) = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{dT} \left( \frac{U_{C1}}{n} \right)^2 \frac{1}{R} dT + \int_{dT}^T \left( \frac{U_{C2}}{n} \right)^2 \frac{1}{R} dT \right] \stackrel{\text{Sustituyendo } U_{C1} \text{ y } U_{C2}}{=} \frac{U_e^2}{n^2 R} d(1-d)$$

d) Flujo en el transformador





4 NOV 11

11

Un satélite artificial posee como única fuente de energía un panel de células fotovoltaicas que posee una curva tensión-corriente que corresponde a la ecuación:

$$i = \lambda - 10^{-2} u^2$$

$i$  en A  
 $u$  en V

$\lambda$  es un parámetro función de la radiación solar

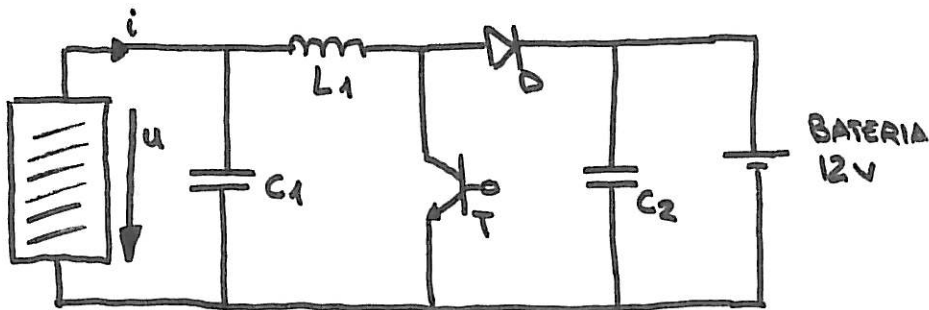
la energía que entrega el panel debe emplearse en cargar una batería de 12V de la que se alimentan los sistemas de navegación y control del satélite.

Para conseguir aprovechar al máximo la energía se pretende hacer funcionar el panel en un punto  $(u, i)$  tal que suministre la máxima energía posible. Para ello se interpondrá entre el panel y la batería un convertidor CC/CC como el representado en la figura.

Si  $\lambda$  varía entre  $0,75 \leq \lambda \leq 3$ , y elementos ideales, se pide:

1. Máxima potencia que debe suministrar el panel
2. Margen de variación de la relación de conducción del transistor (duty cycle)
3. Máxima tensión colector-emisor en el transistor y máxima tensión en el diodo
4. Máximos valores de la corriente media en transistor y diodo.

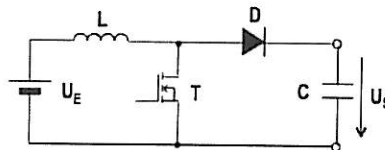
Duty cycle →  
orden



### Enunciado

Se utiliza un convertidor elevador para cargar un condensador de gran capacidad ( $C=0,1F$ ) desde un batería de 50V de tensión (ver figura). El condensador está inicialmente cargado a 100V y el objetivo del circuito es elevar su tensión hasta 400V. El transistor del circuito se controla mediante un control por histéresis de la corriente por la bobina de forma que se mantiene encendido hasta que la corriente por la bobina alcance 15A, momento en que se apaga; el transistor permanece apagado hasta que la corriente por la bobina sea igual 5A, momento en que vuelve a encenderse. De esta forma, la corriente por la bobina siempre está comprendida entre 5 y 15 Amperios (en el instante inicial se puede suponer que la corriente por la bobina es de 5A).

En este circuito, la bobina presenta una inductancia de  $10\mu H$  y los semiconductores se pueden considerar ideales. Considerar también que la tensión en el condensador es constante dentro de cada ciclo de conmutación.



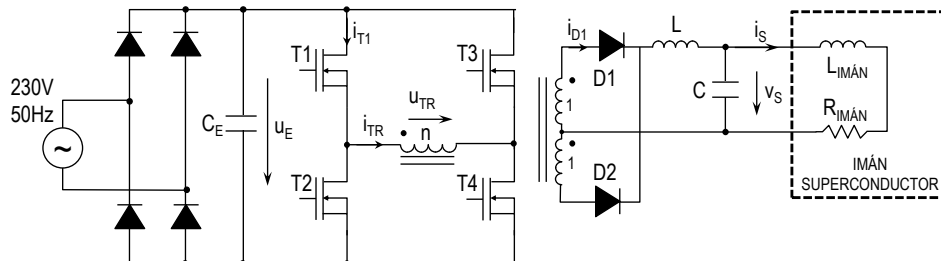
Datos:  $U_E=50V$ ,  $L=10\mu H$ ,  $C=0,1F$

Se pide:

- Dibujar la forma de onda de la corriente por la bobina en el primer ciclo y en el último de conmutación
- Calcular la máxima y la mínima frecuencia de conmutación del circuito con el control adoptado.
- Calcular la máxima corriente media en el diodo y en el transistor.
- Calcular el tiempo necesario para cargar el condensador de 100 a 400V.
- Si el diodo presentase una caída de tensión en conducción constante e igual a 1V, calcular la energía disipada en el diodo durante el proceso de carga.

**PROBLEMA 3.** (3 puntos)

El convertidor CC/CC en puente completo de la figura, permite alimentar un imán superconductor cuyo equivalente eléctrico es una inductancia grande ( $L_{IMÁN}$ ) y una resistencia ( $R_{IMÁN}$ ) cuyo valor depende fuertemente del estado del imán. Este convertidor se alimenta desde la red eléctrica mediante un rectificador monofásico que carga el condensador  $C_E$  con una tensión igual a 325V.

**A) FASE DE MAGNETIZACIÓN DEL IMÁN**

Durante los primeros instantes de funcionamiento, el convertidor aplica 20V a su salida y el imán demanda una corriente constante de 100A. Asumiendo que el transformador tiene una inductancia magnetizante muy grande, que los semiconductores son ideales y que la frecuencia de conmutación del convertidor es de 100kHz:

- a.1. Calcular la relación de vueltas del transformador  $n$  para que el ciclo de trabajo en esta fase de magnetización sea 0,4.
- a.2. Dibujar la corriente por el transistor  $T1$  ( $i_{T1}$ ), el transformador  $i_{TR}$  y el diodo  $D1$  ( $i_{D1}$ ).
- a.3. Calcular la tensión máxima en  $T1$  y  $D1$  y la corriente media en  $T1$  y  $D1$ .
- a.4. Si se admite que puede haber cortes en el suministro de energía eléctrica al convertidor por un tiempo máximo de 100ms, calcular el valor del condensador  $C_E$  para que el convertidor pueda seguir entregando la tensión y la corriente que necesita el imán en la fase de magnetización.

**B) FASE DE "SUPER-CONDUCCIÓN" DEL IMÁN**

Cuando se consigue magnetizar el imán, su resistencia interna desciende a un valor muy pequeño ( $R_{IMÁN}=1m\Omega$ ) pero aportando la misma corriente constante de salida (100A). En esta fase, se aporta muy poca energía al imán.

- b.1. Calcular el nuevo ciclo de trabajo del convertidor.
- b.2. Calcular la tensión máxima en  $T1$  y  $D1$  y la corriente media en  $T1$  y  $D1$ .
- b.3. Si se quisiese calcular un radiador para los diodos, indicar razonadamente cuál de las dos fases (magnetización o super-conducción), es más desfavorable en cuanto a pérdidas para ellos.

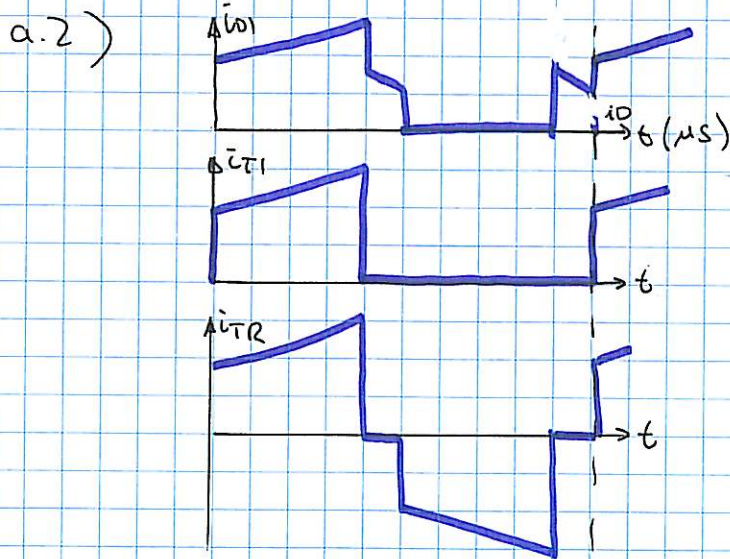


3

a.1) Convertidor en puente completo

$$U_s = 2 \frac{U_e \cdot d}{n} \Rightarrow n = \frac{2 \cdot U_e \cdot d}{U_s} = \frac{2 \cdot 325 \cdot 0,4}{20} = 13$$

Transformador 13:1:1



Cuando T1-T4 están disparados, D1 conduce toda la corriente de la bobina; igualmente D2 conduce cuando T2-T3 están disparados; cuando no hay transistores disparados conducen los 2 diodos llevando cada uno la mitad de la corriente

a.3)

T1 soporta la tensión de entrada: 325V

D1 soporta 2 veces la tensión de entrada vista en secundario:  $\frac{2 \cdot 325}{13} = 50V$ .

D1 lleva la mitad de la corriente de salida: 50A

T1 lleva la corriente de salida vista en primario y promediada en un ciclo  $\frac{100}{13} \cdot 0,4 \approx 3A$ .

a.4) Si no llega energía desde la red eléctrica, el condensador  $C_E$  se va descargando, el convertidor aumentará su ciclo de trabajo hasta 0,5 que es el máximo posible en este convertidor. Habrá que elegir  $C_E$  de forma que no se descargue demasiado en 100ms, teniendo en cuenta la potencia de salida.

$$\begin{cases} P_s = U_s \cdot I_s = 20 \cdot 100 = 2kW \\ E_s = P_s \cdot t = 2kW \cdot 100ms = 200 W \cdot s \text{ (Julios)} \end{cases}$$

- La energía que tiene un condensador es  $\frac{1}{2} C \cdot U^2$



- Al iniciarse el proceso  $U_E = 325 \text{ V}$  y al final debe ser como mínimo:

$$U_e = \frac{n U_s}{d \cdot 2} = \frac{13 \cdot 20}{0,5 \cdot 2} = 260 \text{ V.}$$

$$- \Delta E = E_{\text{inicial}} - E_{\text{final}} = \frac{1}{2} C \cdot 325^2 - \frac{1}{2} C \cdot 260^2 = 19012,5 C$$

$$- \Delta E = \bar{E}_s \Rightarrow 19012,5 C = 200 \Rightarrow C = 10 \text{ mF.}$$

b.1) en esta fase la tensión de salida vale  $I_s \cdot R_{\text{MAN}} = 100 \text{ mV}$

$$\text{Por tanto, el ciclo de trabajo es: } d = \frac{n U_s}{2 U_e} = \frac{13 \cdot 0,1}{2 \cdot 325} = 2 \cdot 10^{-3}$$

lo que es coherente con una pequeña aportación de energía desde la entrada.

$$b.2) U_{T1} = 325 \text{ V.}$$

$$U_{D1} = 50 \text{ V}$$

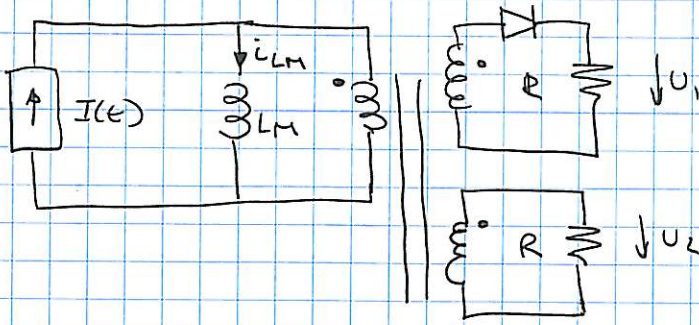
$$I_{T1, \text{MED}} = \frac{100}{13} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 15 \text{ mA}$$

$$I_{D1, \text{MED}} = 50 \text{ A}$$

b.3) en las 2 fases, los diodos tienen 50 A de corriente media pero en la primera tienen periodos más largos con 100 A (y con 0 A) lo que empeora el valor eficaz de corriente. Por tanto, en la fase de magnetización presentarán unas pérdidas mayores.

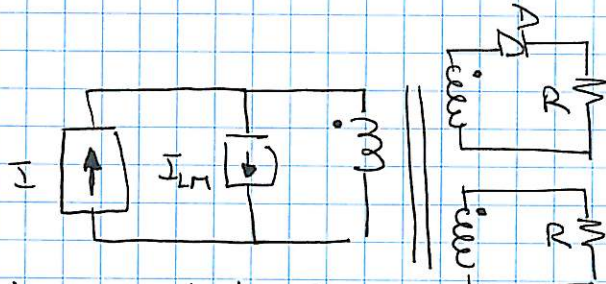


4



a) • Asumiendo una corriente magnetizante con el signo mostrado, la corriente que realmente va a los secundarios es la parte de  $i(t)$  e  $i_{LM}$

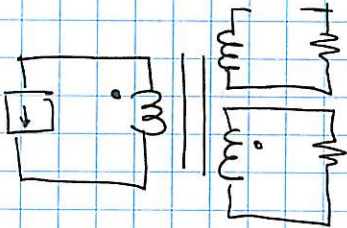
TRAMO 1  $I(t) = I$



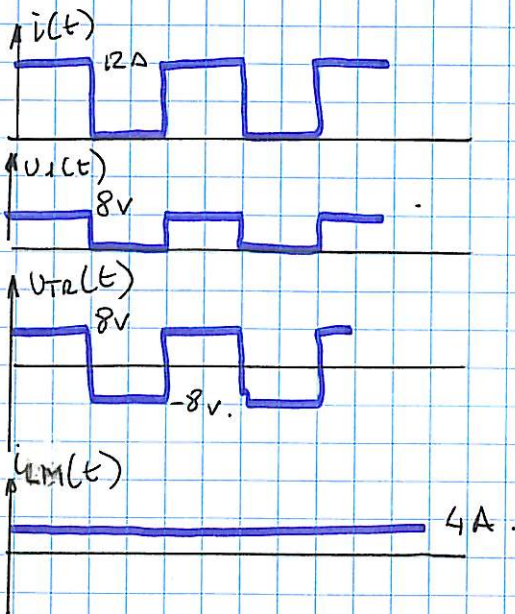
• El diodo puede conducir y por tanto  $I - I_{LM}$  se divide entre los 2 devanados secundarios. La tensión que aparece en el transformador es  $\frac{I - I_{LM}}{2} R$

TRAMO 2  $I(t) = 0$

• La corriente por el transformador es negativa y solo conduce por



el segundo devanado. La tensión en el trazo es  $-I_{LM} \cdot R$ .



Como el valor medio de tensión en el transformador debe ser cero:

$$\frac{I - I_{LM}}{2} R = I_{LM} \cdot R \Rightarrow I_{LM} = \frac{I}{3}$$

$$I = 12 \text{ A}$$

$$I_{LM} = 4 \text{ A}$$



b)

$$U_{1, MED} = \frac{I - I_{LM}}{2} \cdot R \cdot \frac{1}{2} = 4V.$$

$$U_{2, MED} = 0.$$

c) P diodo: por el diodo circulan 4A la mitad del tiempo. Por tanto,  $U_{AK} = V_g + r_d \cdot I_{AK} = 1 + 0,05 \cdot 4 = 1,2V$

$$\Rightarrow P_{diodo} = U_{AK} \cdot I_{AK} = 1,2V \cdot 4A = 4,8W \text{ (pulsos de } 4,8W)$$

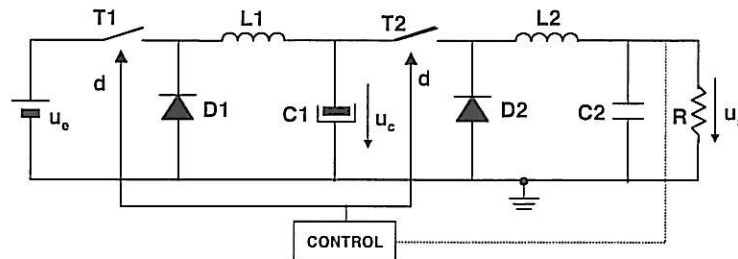
d) Para el radiador, hay que considerar potencia pulsante en la  $R_{\theta UC}$  y potencia constante en la  $R_{\theta RA}$ .

$$\Delta T = T_{U, MAX} - T_A = P_{MAX} \cdot Z_{\theta UC} (d=0,5, t=10\mu s) + P_{MED} \cdot R_{\theta RA}$$

$$\Rightarrow R_{\theta RA} = \frac{T_{U, MAX} - T_A - P_{MAX} \cdot Z_{\theta UC} (d, t)}{P_{MED}}$$

$$R_{\theta RA} = \frac{150 - 30 - 4,8 \cdot 0,5}{2,4} = 49^\circ C/W$$

A partir de una fuente de tensión continua relativamente alta y muy variable ( $u_e$ ), se pretende generar una tensión de salida continua baja ( $u_s$ ) para alimentar a una carga resistiva de valor  $R$ . Debido a la gran diferencia que existe entre  $u_e$  y  $u_s$ , se ha optado por emplear 2 convertidores reductores en cascada, existiendo únicamente un circuito de mando que genera una señal de disparo idéntica para los 2 interruptores, como muestra el circuito.

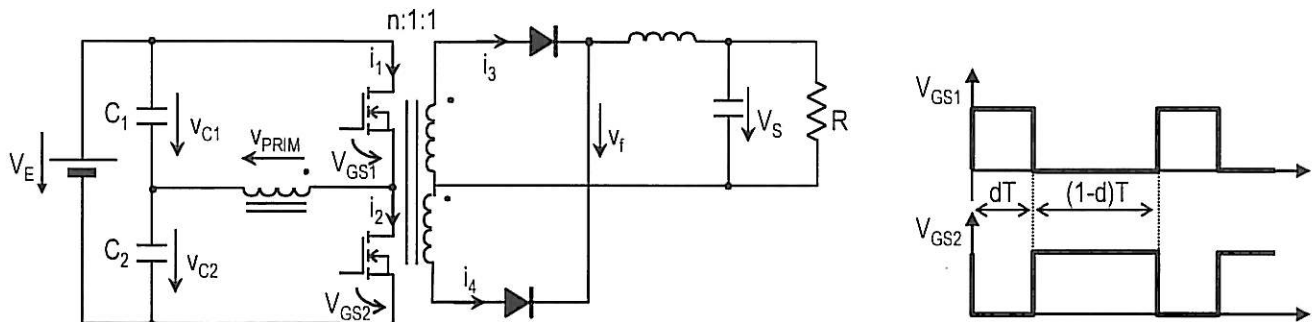


Los elementos reactivos  $L1$ ,  $L2$ ,  $C1$  y  $C2$  pueden considerarse suficientemente grandes para suponer que los rizados de corriente en las bobinas y los rizados de tensión en los condensadores son despreciables a la frecuencia de conmutación. Los semiconductores se considera que son ideales.

- Obtener la expresión de la tensión de salida ( $u_s$ ) y de la tensión en el condensador intermedio ( $u_c$ ), en función de la tensión de entrada ( $u_e$ ) y del ciclo de trabajo ( $d$ ).
- Dibujar las formas de onda de corriente en  $T1$ ,  $D1$ ,  $L1$ ,  $C1$ ,  $T2$ ,  $D2$ , y  $L2$ .
- Obtener los valores medios y máximos de corriente por  $L1$ ,  $T1$ ,  $D1$ ,  $L2$ ,  $T2$  y  $D2$  en función de  $u_s$ ,  $R$  y  $d$ .
- Se contempló la posibilidad de emplear un convertidor directo o *forward* para esta aplicación, en lugar del mostrado en la figura. Dé su opinión sobre las ventajas e inconvenientes de usar esta opción en la presente aplicación.

**PROBLEMA 2.** (3 puntos)

El convertidor CC/CC de la figura es un Medio Puesto con Control Complementario donde los interruptores de primario se disparan de forma complementaria tal y como se indica en la figura. Suponiendo que los elementos reactivos (bobinas y condensadores) son suficientemente grandes como para despreciar los rizados de corriente y tensión, se pide:



- Determinar, de forma razonada, la tensión de los condensadores  $C_1$  y  $C_2$  en función del ciclo de trabajo y la tensión de entrada.
- Dibujar las formas de onda  $V_{PRIM}$  y  $V_f$  y calcular la expresión de la tensión de salida en función de la tensión de entrada y el ciclo de trabajo.

Si la inductancia magnetizante del transformador vista desde primario es  $L_M$ , se pide:

- Determinar, de forma razonada, la expresión del rizado de corriente magnetizante así como su valor medio.
- Dibujar, teniendo en cuenta la corriente magnetizante, la forma de onda de las corrientes  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  e  $i_4$  indicando los valores más significativos.