CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

Electrónica de Potencia

Problemas

cei@upm.es

Universidad Politécnica de Madrid

POLITÉCNICA

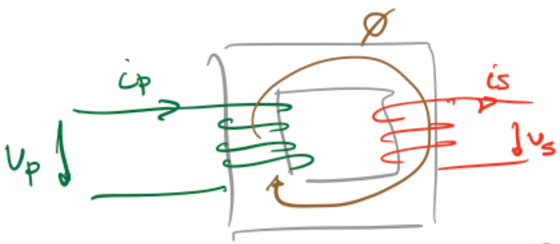
CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

Conceptuales

Problemas

cei@upm.es

Transformador



$L_{m_p} = \frac{n_p^2}{\mathcal{R}}$ $\qquad$ $L_{m_s} = \frac{n_s^2}{\mathcal{R}}$

con todos los devanados abiertos menos 1, se comporta como una bobina.

$$\sum n i = \phi \cdot \mathcal{R}$$

$$\frac{v_1}{n_1} = \frac{v_2}{n_2} = \cdots = \frac{d\phi}{dt}$$

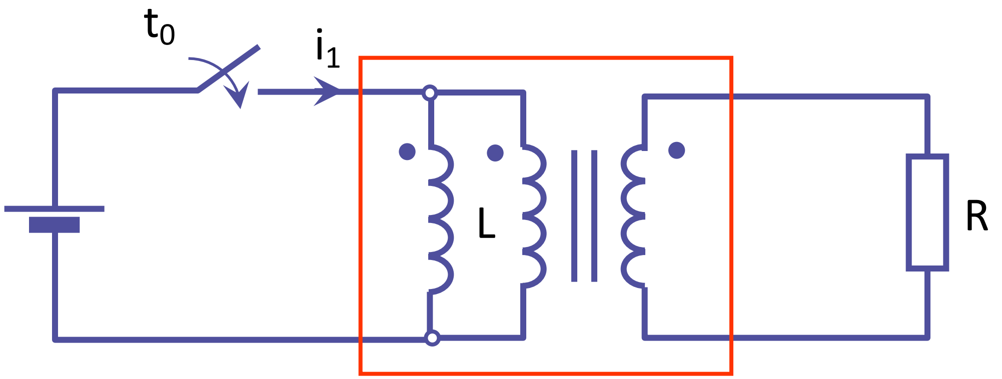
$$\longrightarrow \underbrace{n_1 i_1 - n_2 i_2}_{=0} + \underbrace{\sum n\, i_{mag}}_{L_{mag}} = \phi \cdot \mathcal{R}$$

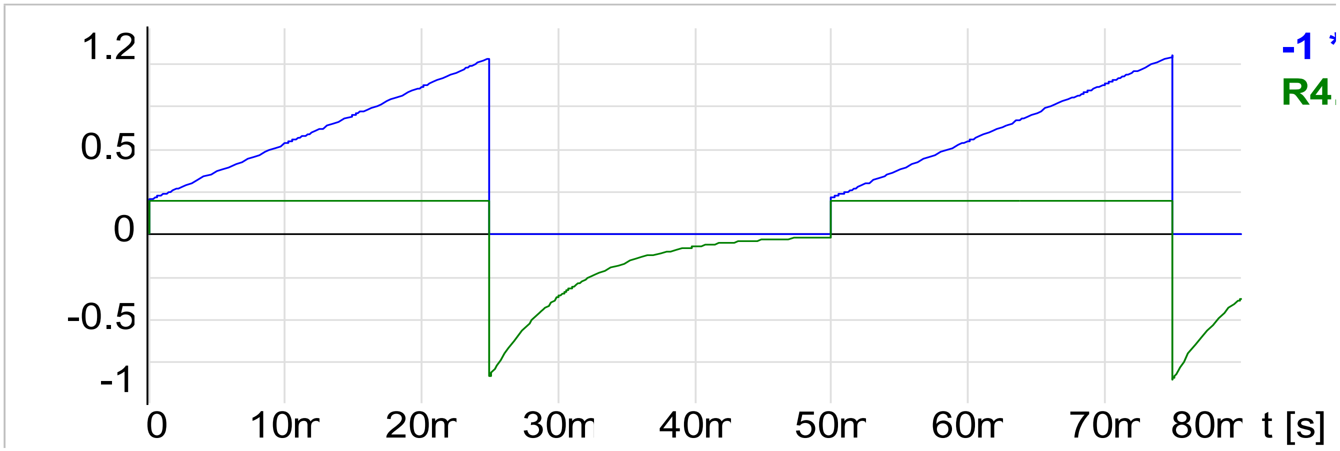
IDEAL

$$\frac{v_1}{n_1} = \frac{v_2}{n_2}$$

$$n_1 i_1 = n_2 i_2$$

EJEMPLOS



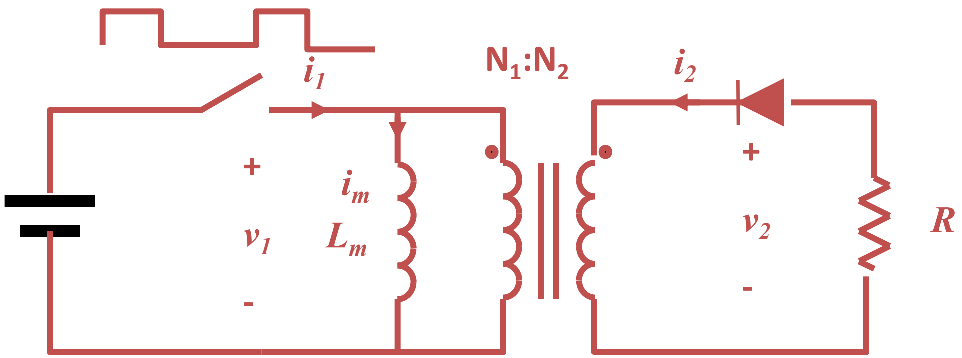


CEI UPM

POLITÉCNICA

Ejemplos

Determinar formas de onda



Calcular:
Pin

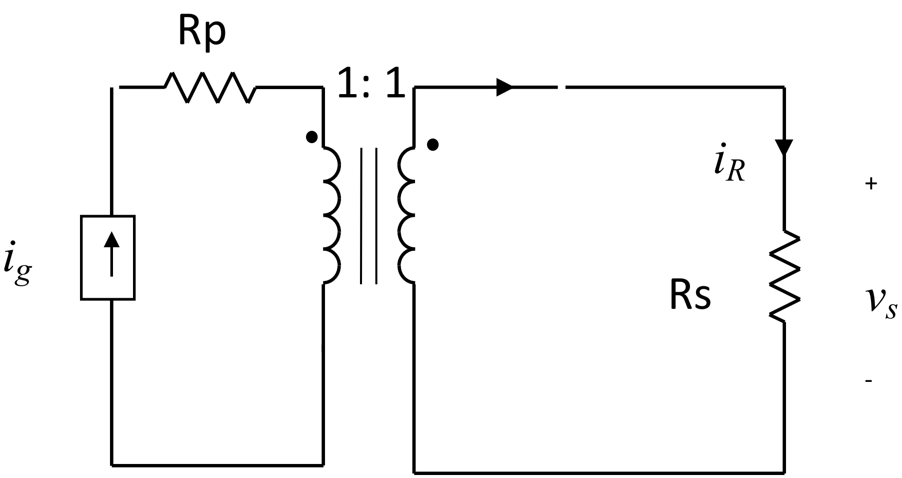
Ejemplo

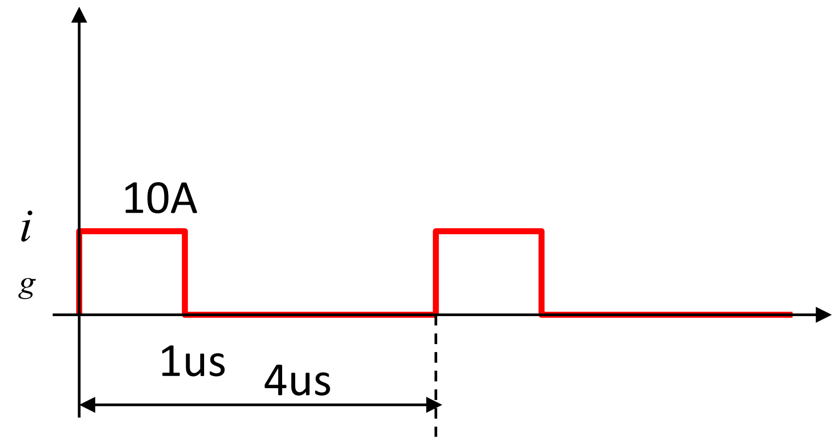
Datos:

Lmag = ∞

Rp = 1 ohm

Rs = 2 ohm





Calcular

- Corriente por secundario
- Tensión transformador
- Corriente por la bobina magnetizante
- Potencia entregada por i_g, consumida por Rs y Rp

Ejemplos

PROBLEMA 2. (2,5 ptos)

El transformador de la figura tiene 2 devanados secundarios, conectados a sendas cargas R_1 y R_2.

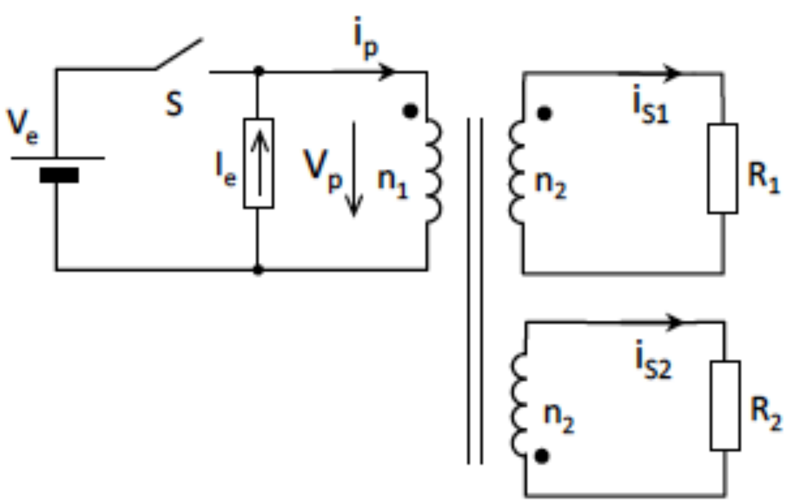
El interruptor *S* se controla con una señal de frecuencia f_S=100kHz y ciclo de trabajo *d=0,4*.

Se pide calcular y representar gráficamente, en régimen permanente:

a) Flujo en el transformador, $\phi(t)$.

b) Tensión en el primario del transformador, $V_p(t)$.

c) Intensidad en todos los devanados: $i_p(t)$, $i_{S1}t)$, $i_{S2}(t)$.

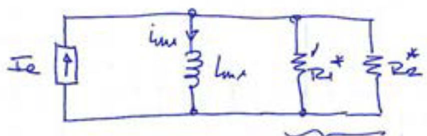


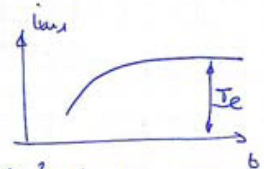
Datos: L_{m1}=20μH, R_1=R_2=200Ω, n_1=10, n_2=20, I_e=1A, V_e=24V

1er APELLIDO
2º APELLIDO
NOMBRE
Nº DE MATRÍCULA Nº DE GRUPO
EJERCICIO
HOJA Nº
ASIGNATURA
ESPECIALIDAD
AÑO DE CARRERA FECHA
CALIFICACIÓN

PROBLEMA 2

a) S abierto:

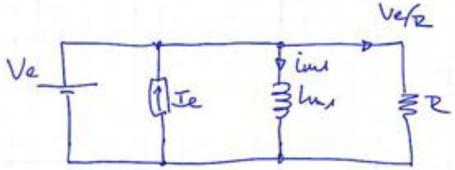


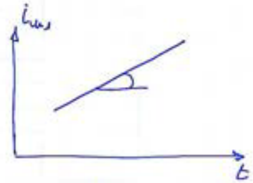


$R_1^* \| R_2^* = 100\,\Omega \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \frac{100\,\Omega}{4} = 25\,\Omega$

$\frac{L_{m1}}{R} = \frac{20\,\mu H}{100/4} = 0'8\,\mu s \Rightarrow 3\tau \simeq 2'4\,\mu s$

S cerrado:



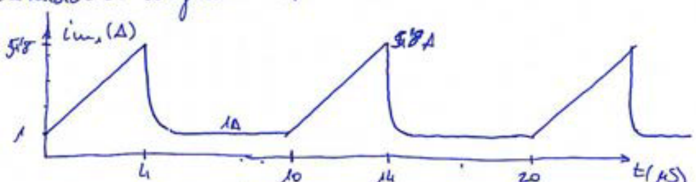


$t_{on} = \delta T = 0'4 \cdot 10 = 4\,\mu s$

$\Delta i_{m1} = \frac{24}{20} \cdot 4 = 4'8\,A$

$i_{m1} = \frac{V_e}{L_{m1}} \cdot t + k$

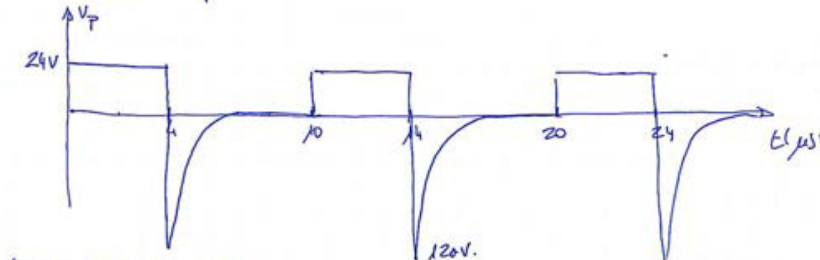
La intensidad magnetizante será:



$n \cdot i_m = \phi \cdot \mathcal{R} \Rightarrow \boxed{\phi = \frac{n}{\mathcal{R}} \cdot i_m}$ El flujo será proporcional a la i_m.

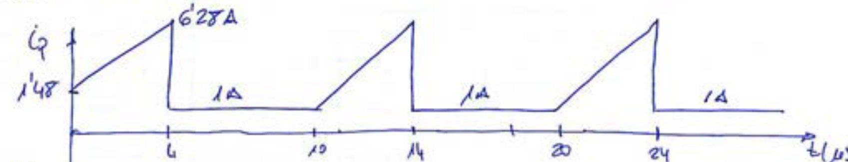
$\frac{n}{\mathcal{R}} = \frac{L_m}{n} = \frac{20}{10} = 2$

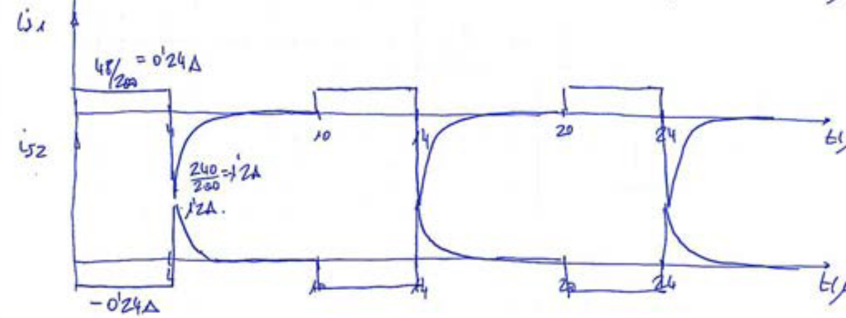
b) Tensión V_p:



$4'8\,A \cdot 25\,\Omega = 120\,V$

c)





$i_p = i_{s1} - i_{s2} + i_{m1} = 0'24 + 0'24 + i_{m1} = 0'48 + i_{m1}$

PROBLEMA 1. (2.5 puntos)

En el circuito de la figura 1, la fuente de corriente I_{IN} inyecta una corriente periódica tal y como se muestra en la figura 2. Siendo el transformador ideal con inductancia magnetizante L_{MAG}, y, asumiendo que el condensador C es suficientemente grande como para considerar su tensión constante (V_S=cte), se pide:

a) Valor de la tensión de salida V_s y valor medio de la corriente magnetizante i_{MAG}.

b) Dibujar las formas de onda de la tensión del transformador v_{TR} y de las corrientes por los diodos i_{D1}, i_{D2} así como la corriente magnetizante, i_{MAG}.

c) Calcular la potencia entregada o absorbida por cada una de las fuentes de energía, así como la potencia entregada a la carga resistiva R.

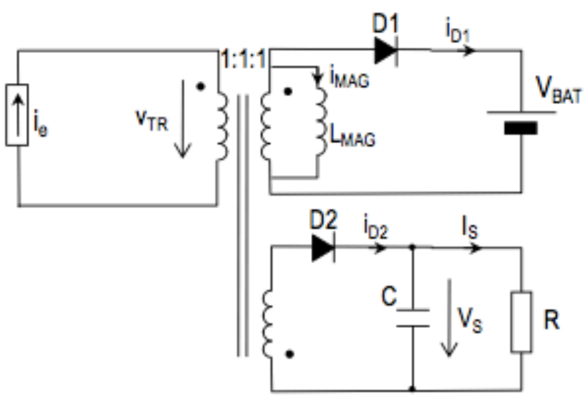


Figura 1

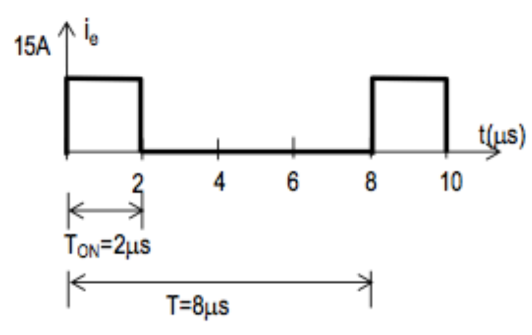


Figura 2

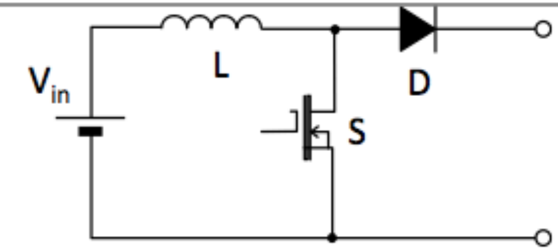
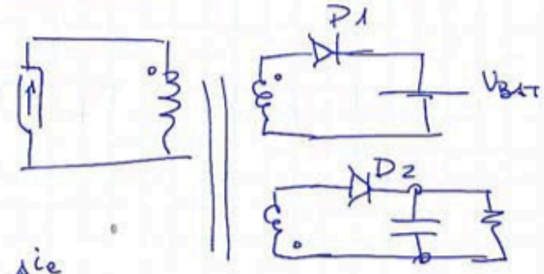


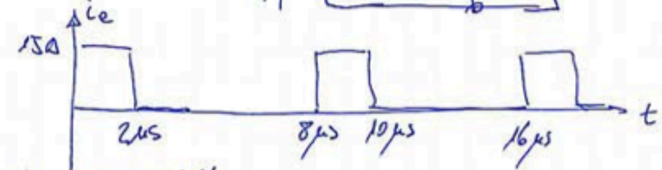
Figura 3

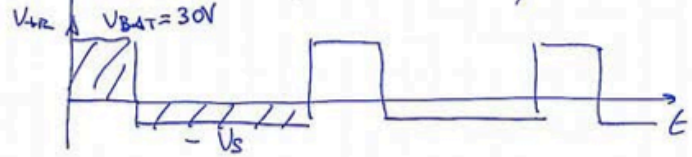
Datos: V_{BAT}=30V; $R=5/3\Omega$; $L_{MAG}=30\mu H$

PROBLEMA 1



$V_S \to 3$
i_{D1}
i_{D2} } 5
i_{mag}
$P \to 2$



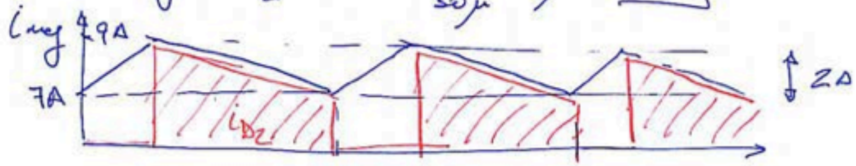


$V_{BAT} \cdot 2 = V_S \cdot 6$

$\boxed{V_S = \frac{V_{BAT}}{3} = 10V}$

$\Rightarrow I_S = \frac{V_S}{R} = \frac{10}{5/3} = \boxed{6A}$

$\Delta i_{mag} = \frac{V}{L} \cdot \Delta t = \frac{30}{30\mu} \cdot 2\mu = \boxed{2A}$

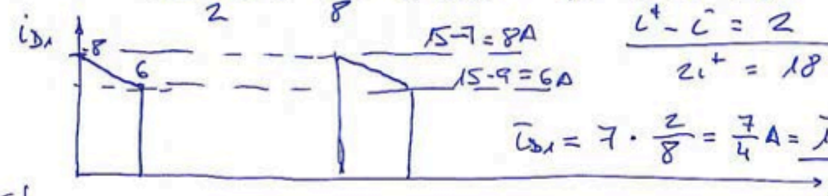


$\bar{i}_{D2} = I_S = 6A.$

$\frac{i^+ + i^-}{2} \cdot \frac{6}{8} = 6A \longrightarrow i^+ + i^- = 16$

$i^+ - i^- = 2$

$2i^+ = 18 \Rightarrow \boxed{\begin{matrix} i^+ = 9A \\ i^- = 7A \end{matrix} \Rightarrow \bar{i}_m = 8A}$



$\bar{i}_{D1} = 7 \cdot \frac{2}{8} = \frac{7}{4} A = \boxed{1'75A}$

c) $P_{ie} = 15 \cdot 30 \cdot \frac{2}{8} = \frac{225}{2} = \boxed{112'5W}$ $\quad P_R = \frac{V_S^2}{R} = \frac{100}{5/3} = \boxed{60W}$

$P_{V_{BAT}} = -V_{BAT} \cdot \bar{i}_{D1} = -30 \cdot \frac{7}{4} = -\frac{15 \cdot 7}{2} = -\frac{105}{2} = \boxed{-52'5W}$

$112'5W = P_{ie} = -P_{V_{BAT}} + P_R = 52'5W + 60W = 112'5W$ (coincide).

PROBLEMA 2. (3 puntos)

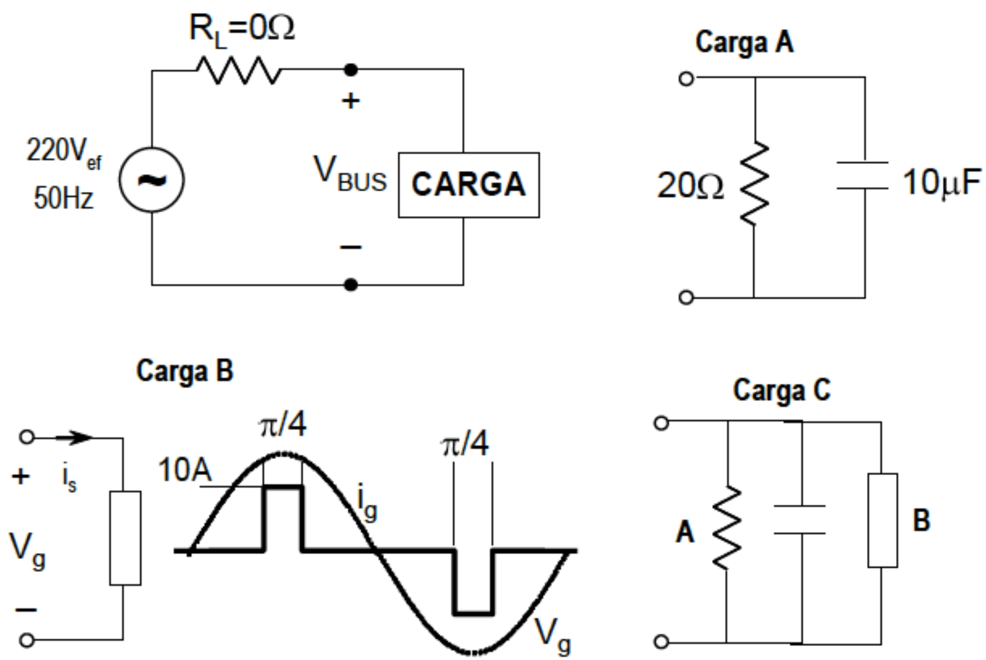
Para los siguientes tipos de carga alimentados desde un generador de tensión alterna ideal, determinar:

a) Potencia aparente manejada por el generador.

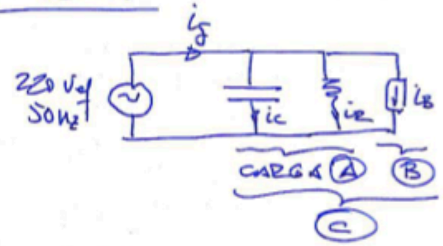
b) Potencia media consumida por la carga

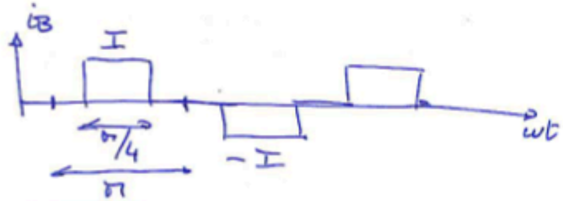
c) Factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

d) Suponiendo que R_L=0,1Ω, y para la carga *C*, determinar la distorsión armónica de tensión en V_{BUS} (asumir que la corriente por la carga no se ve afectada por R_L).



PROBLEMAS





Fórmulas:

$$\boxed{i_{ef_B} = I\cdot\sqrt{d}} = I\cdot\sqrt{\frac{\pi/4}{\pi}} = \frac{I}{2} = 5A$$

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\cdot i(t)\,dt = V_0 I_0 + V_{1ef}\cdot i_{1ef}\cdot\cos\varphi_1 + \dots + V_{nef}\cdot i_{nef}\cdot\cos\varphi_n$$

$$V_{ef}^2 = V_{1ef}^2 + V_{2ef}^2 + \dots \Rightarrow \sum_2^{\infty} V_{ef_n}^2 = V_{ef}^2 - V_{1ef}^2$$

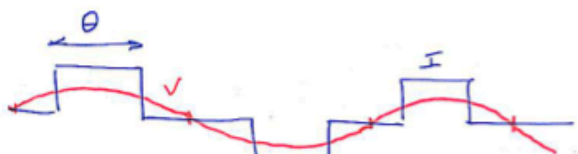
$$F.P = \frac{P}{S}$$

$$S = P + jQ = V_{ef}\cdot I_{ef}^*$$

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = V_{ef}\cdot I_{ef}$$

$$THD = \frac{\sqrt{i_{ef_2}^2 + i_{ef_3}^2 + \dots}}{i_{ef_1}} = \sqrt{\frac{i_{ef}^2}{i_{ef_1}^2} - 1}$$

Cálculo del armónico n:



$$P = \frac{1}{\pi}\int_{-\theta/2}^{\theta/2} I\cdot V_p\cdot\cos n\omega t\, d\omega t = V_0 I_0 + V_{1ef}\cdot i_{1ef}\cdot\cos\varphi_1 + \dots + V_{nef}\cdot i_{nef}\cdot\cos\varphi_n$$

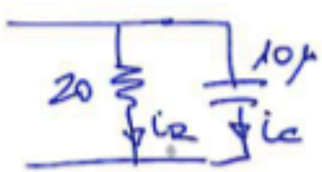
$$\frac{1}{\pi\cdot n}\cdot I\cdot V_p\cdot\left[\operatorname{sen} n\omega t\right]_{-\theta/2}^{\theta/2} = V_{ef_n}\cdot i_{ef_n}\cdot\cos\varphi_n = \frac{V_p}{\sqrt{2}}\cdot i_{ef_n}$$

$$\boxed{i_{ef_n} = I\cdot\frac{1}{\pi\cdot n}\cdot 2\cdot\sqrt{2}\cdot\operatorname{sen} n\frac{\theta}{2}}$$

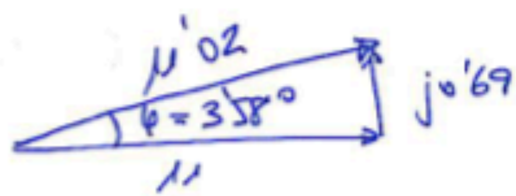
$$\boxed{i_n(t) = I\cdot\frac{4}{\pi\cdot n}\cdot\operatorname{sen} n\frac{\theta}{2}\cdot\operatorname{sen} n\omega t}$$

	i_{ef_g}	$i_{g_{ef,1}}$	$\sum_{2} i_{g_{ef_j}}^2$	P(w)	S(VA)	F.P	THD
Carga A	$11 + j0'69 = 11'02 \angle 3'58^\circ$	$i_{g_{ef}} \equiv i_{g,1,ef}$	0	$\frac{220^2}{R} = 2420$	$220 \cdot 11'02 = 2424$	$\frac{P}{S} = \frac{2420}{2424} = 0'998$	0
" B	5A	3'445	13'129	758	$220 \cdot 5 = 1100$	$\frac{758}{1100} = 0'69$	105 %
" C	14'90	14'46	13'129	3178	$220 \cdot 14'9 = 3280$	$\frac{3178}{3280} = 0'97$	25 %

Carga A :



$$\left.\begin{aligned} i_{R_{ef,1}} &= \frac{220}{\sqrt{2}} = 11 \\ i_{C_{ef,1}} &= \frac{220}{1/j\omega C} = 220 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = j\,0'69 \end{aligned}\right\} \text{50 Hz}$$



Carga (B):

$$\begin{cases} i_{ef_0} = 10\cdot\sqrt{\dfrac{\pi/4}{\pi}} = 5A \\ i_{ef_{B1}} = \dfrac{I}{\pi}\cdot 2\cdot\sqrt{2}\cdot \operatorname{sen}\dfrac{\pi}{8} = 3'445A \end{cases}$$

$$\boxed{\sum_{n=2}^{\infty} i^2_{ef_n} = 5^2 - 3'445^2 = 13'129}$$

$$P = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi/8}^{\pi/8} I\cdot V_p\cdot \cos\omega t\, d\omega t = \frac{I\cdot V_p}{\pi}\cdot 2\cdot \operatorname{sen}\frac{\pi}{8} = \frac{10\cdot 220\cdot\sqrt{2}\cdot 2}{\pi}\cdot \operatorname{sen}\frac{\pi}{8} = \boxed{758\,W}$$

$$F.P = \frac{758}{220\cdot 5} = \boxed{0'69 = 69\%}$$

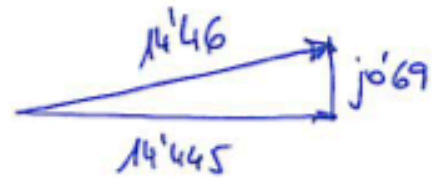
$$THD = \frac{\sqrt{13'129}}{3'445} = 1'05$$

Carga (C).

$$P_c = P_A + P_B = 758 + 2420 = \boxed{3178\,W}$$

$$\sum_{n=2}^{\infty} i^2_{ef_n} = 13'129 \text{ , igual que en B}$$

Primer armónico: $11 + 3'445 + j0'69 = 14'445 + j0'69$

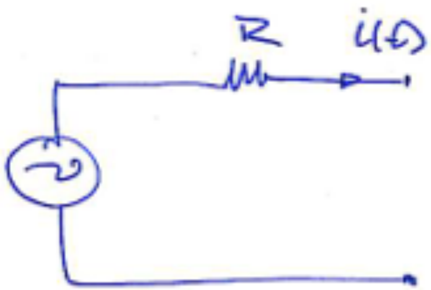


$$i^2_{ef_c} = i^2_{ef_{c1}} + \sum_{n=2}^{\infty} i^2_{ef_n} = 14'46^2 + 13'129 = 222 \Rightarrow \boxed{i_{ef_c} = 14'9}$$

$$F.P = \frac{P}{S} = \frac{3178}{220\cdot 14'9} = \boxed{0'97}$$

$$\boxed{THD = \frac{\sqrt{13'129}}{14'46} = 0'25}$$

THD de v, conocida $\sum_{n=2}^{\infty} i_{ef_n}^2$:



$$\boxed{THD = \frac{\sqrt{\sum i_{ef_n}^2 \cdot R}}{V_{ef_1}} = \frac{R}{V_{ef_1}} \cdot \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} i_{ef_n}^2}}$$

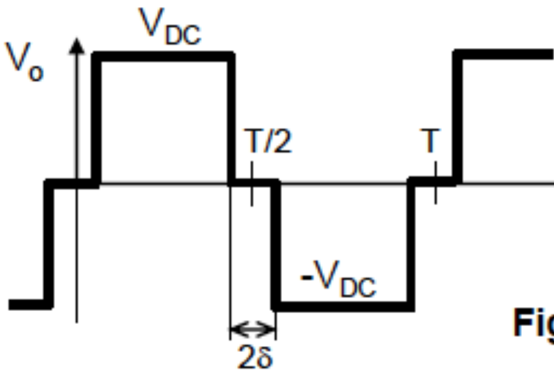
$$\boxed{THD = \frac{0'1}{220} \cdot \sqrt{13'129} = 0'16\,\%}$$

CEI UPM

POLITÉCNICA

PROBLEMA 3. (2,5 ptos)

La descomposición en serie de Fourier de la forma de onda de la Figura 1 es la que se muestra a su derecha.



$$v_o(t) = V_{DC} \sum_{n=1,3,5} \frac{4}{n\pi} \cos(n\delta)\sin(n\omega t)$$

Figura 1

El circuito de la figura 2 representa un inversor no modulado que puede inyectar y absorber potencia de la red eléctrica. El inversor genera una tensión desfasada de un ángulo Φ respecto a la tensión de red, tal y como se muestra en la figura 3.

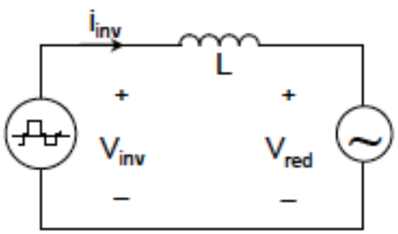


Figura 2

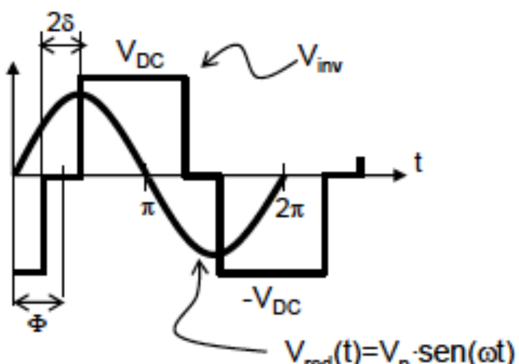


Figura 3

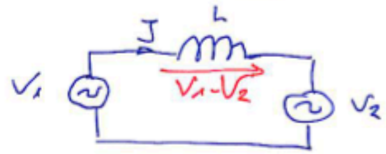
Datos:

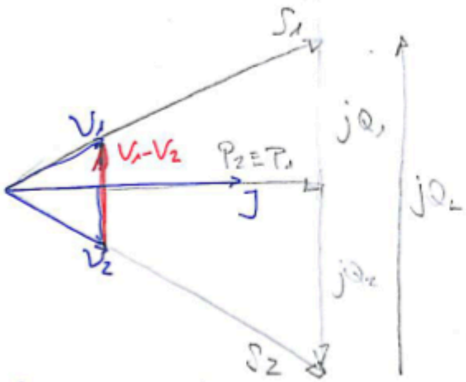
L=2mH
$\delta=37^{\circ}$
$\Phi=10^{\circ}$
V_p=300V
V_{DC}=300V
f=50Hz

Calcular:

a) Amplitud de los armónicos 1, 3 y 5 de corriente (valor de pico).
b) Potencia inyectada a la red por los armónicos 1, 3 y 5 de corriente (signo positivo absorbida por la red).
c) Potencia que el inversor inyecta debida a los armónicos 1, 3 y 5.
d) Factor de potencia en el lado de la red y factor de potencia en el lado del inversor (hasta 5º armónico).
e) Distorsión armónica total de la corriente (hasta 5º armónico).

FLUJO DE POTENCIA





$$\boxed{J = \frac{V_1 - V_2}{j\omega L}}$$

$$\boxed{S_1 = V_1 \cdot J_1^*} = V_1 \cdot \frac{V_1^* - V_2^*}{-j\omega L} = -\frac{V_1^2}{j\omega L} + \frac{V_1 \cdot V_2^*}{j\omega L}$$

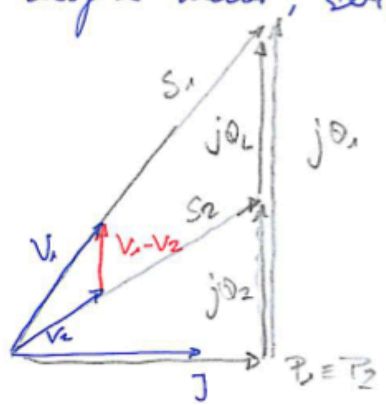
$$P_1 = P_2 = Re\left\{ \frac{V_1 \cdot V_2^*}{j\omega L} \right\} = \frac{V_1 \cdot V_2}{\omega L} \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2 - 90^\circ)$$

$$\boxed{P_1 = \frac{V_1 \cdot V_2}{\omega L} \cdot \operatorname{sen}(\varphi_1 - \varphi_2)} \equiv P_2$$

$$Q_1 = Im\left\{ j\frac{V_1^2}{\omega L} + \frac{V_1 \cdot V_2^*}{j\omega L} \right\}$$

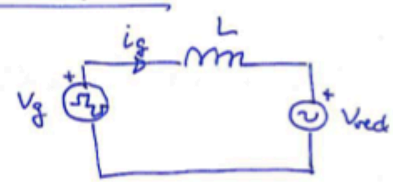
$$\boxed{Q_1 = \frac{V_1^2}{\omega L} + \frac{V_1 V_2}{\omega L} \cdot \operatorname{sen}(\varphi_1 - \varphi_2 - 90^\circ)} = \boxed{\frac{V_1^2}{\omega L} + \frac{V_1 V_2}{\omega L} \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

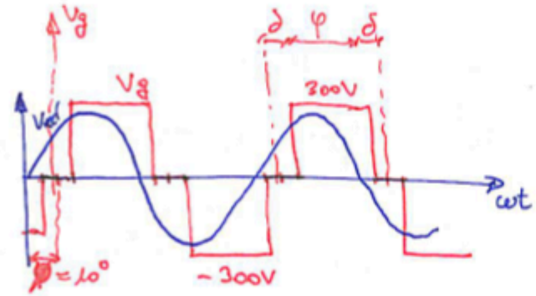
Con un desfase tan grande las dos fuentes aportan reactiva a la L. Con un desfase menor, sería:



La P va de la V más adelantada hacia la retrasada, por lo que sería mejor resolverlo con el desfase al revés ($v_{inversor}$ adelantada respecto a v_{red})

PROBLEMAS





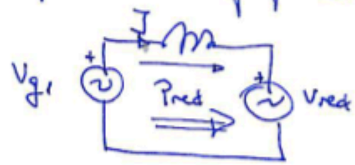
origen de tiempos en ωt = 10°

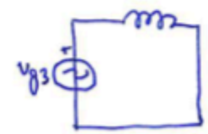
$$V_g = \left[\frac{4}{\pi}\cdot\cos\delta\cdot\sin\omega t + \frac{4}{3\pi}\cdot\cos 3\delta\cdot\sin 3\omega t + \frac{4}{5\pi}\cdot\cos 5\delta\cdot\sin 5\omega t + \dots\right]\cdot 300$$

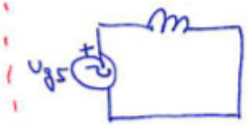
$$= \frac{4}{\pi}\,\sin\frac{\varphi}{2}\cdot\sin\omega t + \frac{4}{3\pi}\cdot\sin\frac{3\varphi}{2}\cdot\sin 3\omega t + \frac{4}{5\pi}\cdot\sin\frac{5}{2}\varphi\cdot\sin 5\omega t + \dots]\cdot 300$$

siendo $\varphi = \pi - 2\delta \iff \delta = \frac{\pi-\varphi}{2} \Rightarrow \cos\delta = \sin\frac{\varphi}{2}$

Aplicamos superposición para cada armónico:







$$V_{g1,ef} = \frac{4}{\pi}\cos\delta\cdot 300\cdot\frac{1}{\sqrt{2}} = 215'7\ V$$

$$V_{g1} = 215'7\cdot\sqrt{2} = 305\,V$$

$$I_{ef3} = \frac{V_{g3ef}}{3\omega L} = \frac{\frac{4}{3\pi}\cos 3\delta\cdot 300}{\sqrt{2}\cdot 3\cdot 100\pi\cdot 2\cdot 10^{-3}} = \frac{\cancel{2}\sqrt{2}\cos 3\delta}{3\pi^2\cdot\cancel{2}}\cdot 10^{3} = \boxed{17'1}$$

$$\boxed{P_3 = 0}$$

$$I_{p3} = \sqrt{2}\,I_{ef3} = \boxed{24'2}$$

$$I_{ef5} = \frac{V_{g5ef}}{5\omega L} = \frac{\frac{4}{5\pi}\cdot\cos 5\delta\cdot 300}{\sqrt{2}\cdot 5\cdot 100\pi\cdot 2\cdot 10^{-3}} = \frac{2\sqrt{2}\cdot\cos 5\delta\cdot 300}{5\cdot\pi^2\cdot 100\cdot 2\cdot 10^{-3}} = \boxed{17'1}$$

$$\boxed{P_5 = 0}$$

$$I_{p5} = \sqrt{2}\,I_{ef5} = \boxed{24'2}$$

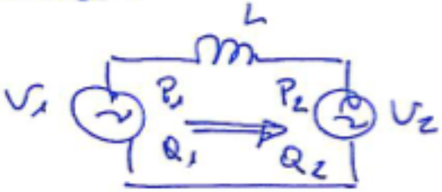
$$I_1 = \frac{V_{g1}-V_{red}}{j\omega L} = \frac{215'7 - \frac{300}{\sqrt{2}}\cdot e^{j10}}{j\,2\pi\cdot 50\cdot 2\cdot 10^{-3}} = -58'6 - j10'8 \Rightarrow I_{1ef} = 59'6$$

$$S_{red} = V_{red}\cdot I^* = V_{red}\left(\frac{V_g - V_{red}}{j\omega L}\right)^* = V_{red}\cdot\frac{V_g^* - V_{red}^*}{-j\omega L}$$

$$S_{red} = \frac{V_{red}\cdot V_{g1}^*}{-j\omega L} + \frac{V_{red}^2}{j\omega L}$$

$$\boxed{P_{red1} = \frac{V_{red}\cdot V_{g1}}{\omega L}\cdot\cos(\text{Ø}+90°) = -\frac{\frac{300}{\sqrt{2}}\cdot 215'7}{100\pi\cdot 2\cdot 10^{-3}}\cdot\sin 10° = -12\,645\ W}$$

En general:



$$\boxed{\begin{aligned} P_2 &= \frac{V_1 \cdot V_2}{\omega L} \cdot \operatorname{sen}(\varphi_1 - \varphi_2) = P_1 \\ Q_2 &= \frac{V_1 \cdot V_2}{\omega L} \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{V_2^2}{\omega L} \neq Q_1 \end{aligned}}$$

d) Factor de Potencia

$$I_{ef}^2 = I_{ef_1}^2 + I_{ef_3}^2 + I_{ef_5}^2 \Rightarrow I_{ef} = \sqrt{59'6^2 + 17'1^2 + 17'1^2} = 64'3$$

$$F.P_{red} = \frac{P}{V_{ef_{red}} \cdot I_{ef}} = \frac{12\,645}{\frac{300}{\sqrt{2}} \cdot 64'3} = \boxed{0'927}$$

$$F.P_g = \frac{P}{V_{ef_g} \cdot I_{ef}} = \frac{12645}{300 \cdot \sqrt{1 - \frac{2\delta}{\pi}} \cdot 64'3} = \frac{12645}{300 \cdot 0'767 \cdot 64'3} = \boxed{0'85}$$

e) $$THD = \frac{\sqrt{I_{ef_3}^2 + I_{ef_5}^2}}{I_{ef_1}} = \frac{\sqrt{17'1^2 + 17'1^2}}{59'6} = \boxed{0'4 = 40\%}$$

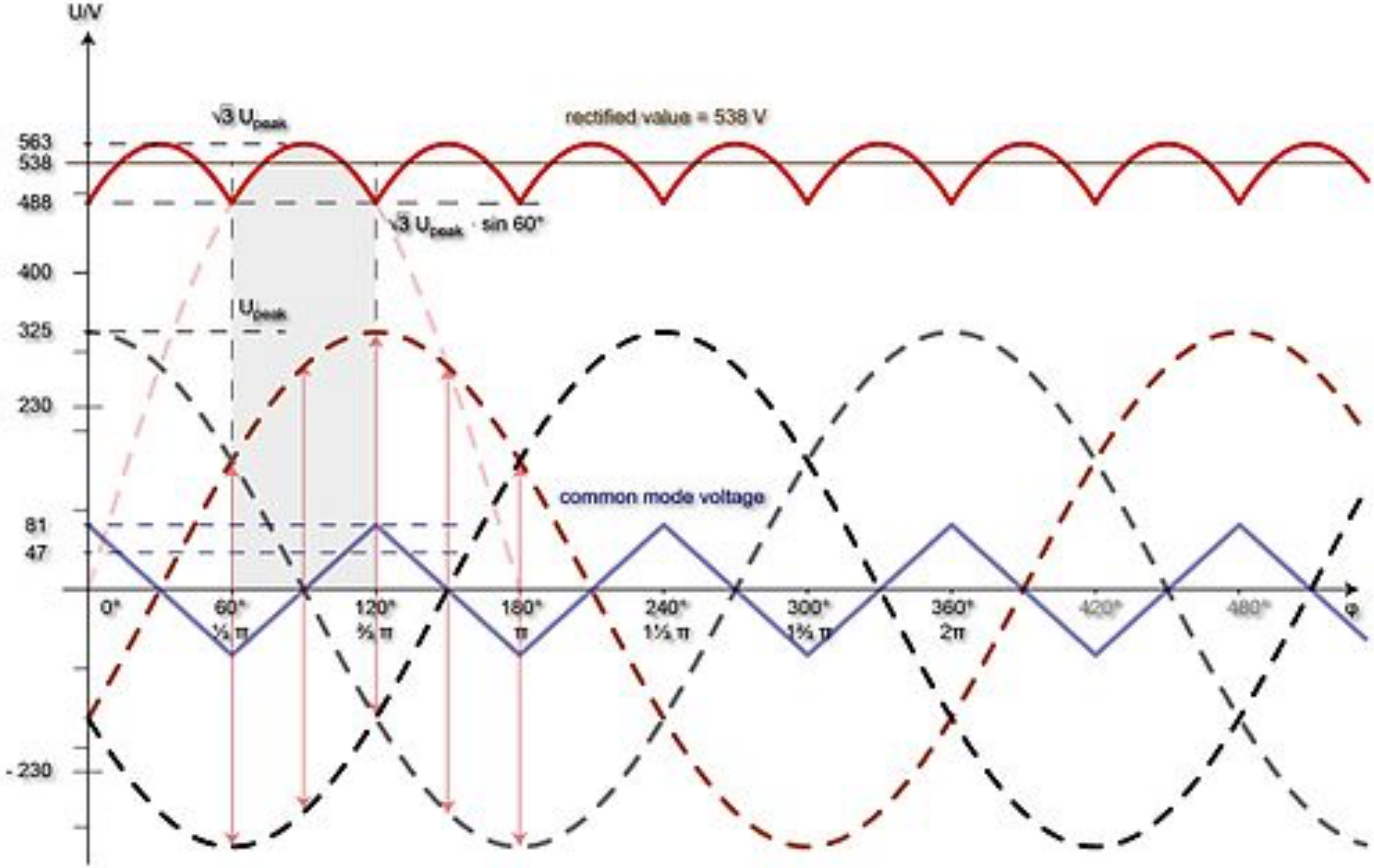
CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

Rectificación

Problemas

cei@upm.es

POLITÉCNICA



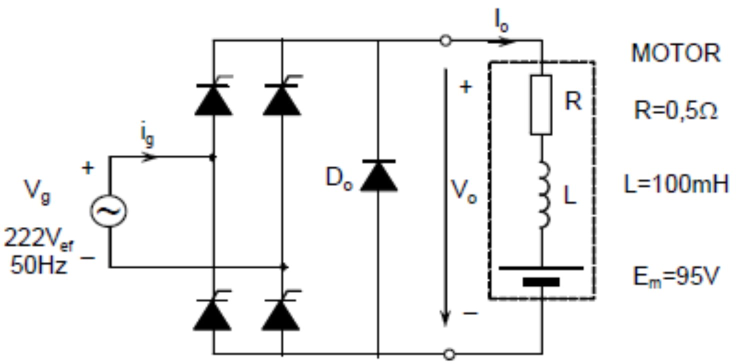
U/V
√3 U_peak
rectified value = 538 V
563
538
488
√3 U_peak · sin 60°
400
U_peak
325
230
common mode voltage
81
47
- 230
0°
60°
⅓ π
120°
⅔ π
180°
π
240°
1⅓ π
300°
1⅔ π
360°
2π
420°
480°
φ

Asignatura: Electrónica de Potencia (1194)
Especialidad: Automática y Electrónica
Fecha pre-actas: 6 de julio

Fecha: 16/06/2009
Convocatoria: Junio
Fecha revisión: 10 de julio

EJERCICIO 1. (3 puntos)

El rectificador controlado alimenta a un motor de continua cuyo equivalente eléctrico es el mostrado en la figura.



Se pide:

a) Calcular el ángulo α para que la corriente por el motor sea de 10A.

b) Representar la tensión de salida del rectificador, V_o, y la corriente de entrada del mismo, i_g, para el ángulo de disparo anterior.

c) Calcular el factor de potencia y la distorsión armónica total.

d) Asumiendo que la caída en el diodo D_o es de 2V, calcular su potencia disipada.

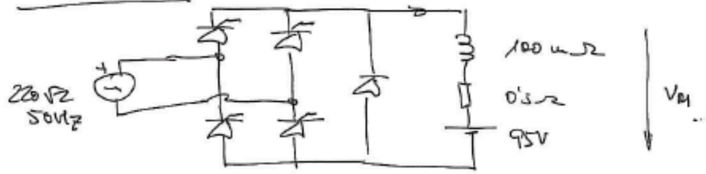
e) Sabiendo que las impedancias térmicas del diodo son $R_{jc}=0{,}5ºC/W$ y $R_{ca}=25ºC/W$, la temperatura ambiente es de 50ºC y la temperatura máxima de la unión es de 125ºC, determinar si es necesario añadirle un radiador y, en caso, afirmativo, calcular su impedancia térmica máxima.

f) Si el diodo D_o se queda abierto, calcular cuál ha de ser el ángulo α para que la corriente por el motor siga siendo 10A.

CEI UPM

POLITÉCNICA

PROBLEMA

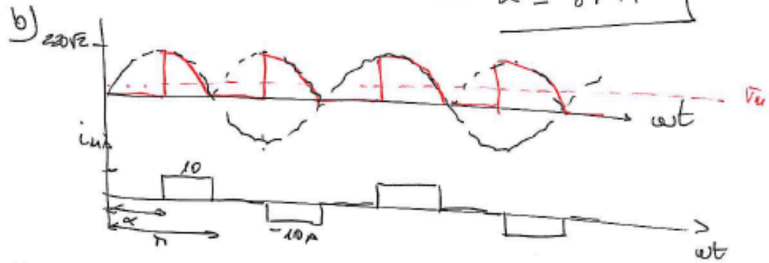


a) $I_M = 10\,A = \frac{\bar{V}_M - 95}{0'5} \Rightarrow \bar{V}_M = 100\,V$

$$\bar{V}_M = V_p \cdot \frac{1}{\pi}\left(1+\cos\alpha\right) \Rightarrow \cos\alpha = \frac{100\pi}{220\sqrt{2}} - 1 = 0'0097$$

$$\Rightarrow \boxed{\alpha = 89'44^\circ}$$

b)

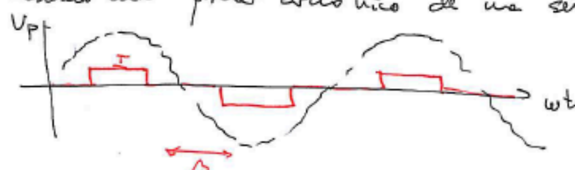


c) $F.P. = \frac{P}{S} = \frac{100 \cdot 10}{220 \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}} \approx \frac{10\cdot\sqrt{2}}{22} = \boxed{64\%}$

$$THD = \sqrt{\left(\frac{i_{ef}}{i_{ef_1}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{7'07}{6'37}\right)^2 - 1} = \boxed{48'3\%}$$

$$i_{ef} = 10 \cdot \sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}} \approx \frac{10}{\sqrt{2}} = \boxed{7'07\,A}$$

Cálculo del primer armónico de una señal cuadrada:



$$P = \frac{1}{\pi}\int_{\beta/2}^{\pi-\beta/2} I \cdot V_p \cdot \operatorname{sen}\omega t \, d\omega t = \frac{I \cdot V_p}{\pi} \cdot \left[-\cos\omega t\right]_{\beta/2}^{\pi-\beta/2} = \boxed{2 \cdot \frac{I \cdot V_p}{\pi} \cdot \cos\beta/2}$$

$$P = V_{ef} \cdot i_{ef_1} \cdot \cos\phi_1 + \cancel{\sum_{j=2}^{\infty} V_{ef_j} \cdot i_{ef_j} \cdot \cos\phi_j}^{\,0} = \boxed{\frac{V_p}{\sqrt{2}} \cdot i_{ef_1}}$$

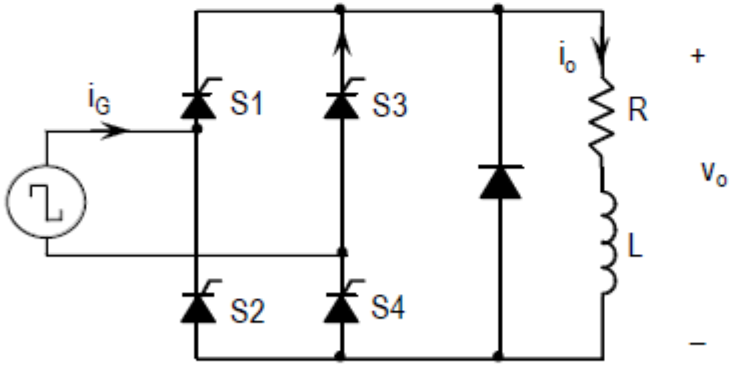
$$\boxed{\begin{array}{l} i_{ef_1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot I \cdot \cos\beta/2 \\ i_{ef_1,p} = \sqrt{2} \cdot i_{ef_1} = \frac{4}{\pi} \cdot I \cdot \cos\beta/2 \end{array}}$$

$$\rightarrow i_{ef_1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot 10 \cdot \cos\frac{\pi}{4} = \frac{20}{\pi} = \boxed{6'37\,A}$$

Asignatura: Electrónica de Potencia (1194) **Fecha:** 11/02/2009
Especialidad: Automática y Electrónica **Convocatoria:** Febrero
Fecha pre-actas: 4 de marzo **Fecha revisión:** 10 de marzo

EJERCICIO 1. (3 puntos)

Se estudia un rectificador monofásico controlado de doble onda con diodo de libre circulación. La tensión de alimentación es una tensión en onda cuadrada de amplitud ±100V y 50Hz. La carga presenta una resistencia de 10Ω y un valor de autoinducción lo suficientemente grande para poder considerar constante la corriente de carga.



Determinar:

a) Formas de onda de la tensión y de la corriente en la alimentación y en la carga para α=60º.

b) Corriente media en la carga, en el diodo de libre circulación y en los tiristores para α=60º.

c) Potencia activa suministrada por la alimentación y factor de potencia en la alimentación para el ángulo de disparo.

d) Para α=60º, determinar el porcentaje de potencia activa transmitida mediante la componente fundamental, la potencia activa transmitida por armónicos.

SOLUCIÓN

Apartado 1)

Como la inductancia de la carga es de tal valor que la corriente de carga puede suponerse constante, las formas de onda de la tensión y de la corriente en la alimentación y en la carga se muestran en la Figura 4.24.2 para un ángulo de disparo α.

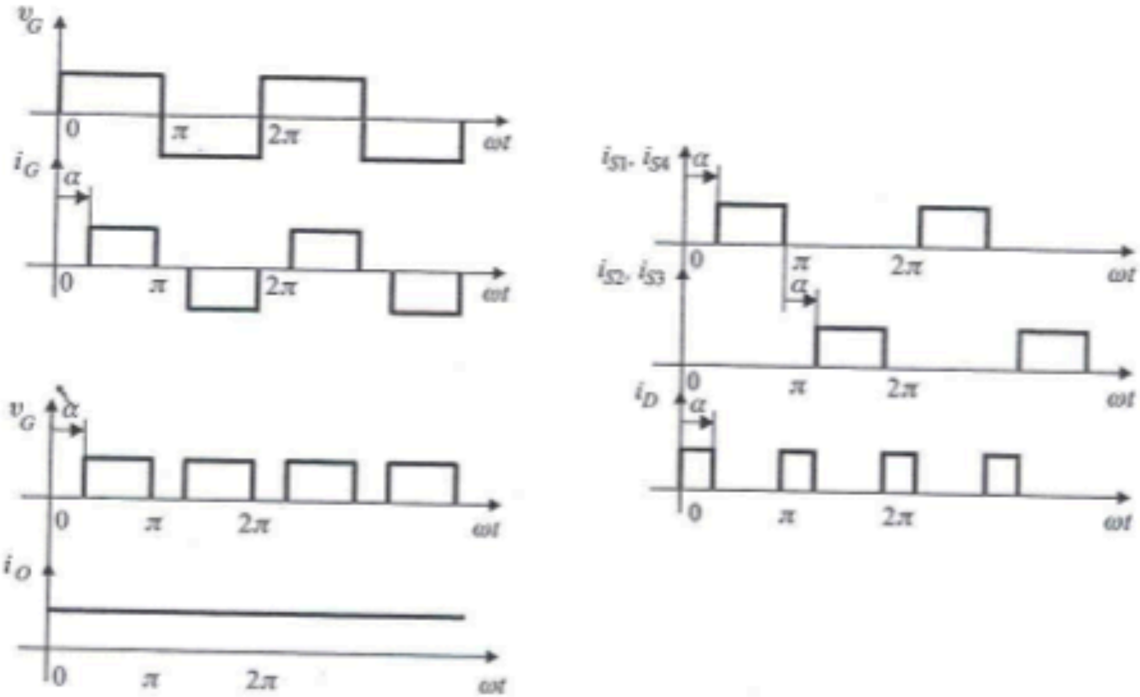


FIGURA 4.24.2
Formas de onda en el rectificador.

Obsérvese la actuación del diodo de libre circulación que conduce la circulación de la corriente de carga durante los intervalos $(0, \alpha)$ y $(\pi, \pi + \alpha)$ evitando la presencia de las tensiones negativas que aparecerían en caso de no existir diodo.

Apartado 2)

En la Figura 4.24.2 se puede comprobar que la forma de onda de la corriente i_G presenta simetría de cua de onda impar. Por tanto, para calcular sus armónicos (sólo términos impares en seno) resulta más cómo hacer una traslación de ejes (a ejes de simetría impar), de manera que el punto medio del pulso positivo i_G coincida con $\pi/2$. Ya que dicho pulso positivo tiene una duración $\pi - \alpha$, la corriente i_G presenta, refer a estos nuevos ejes, un tiempo muerto a cada lado del pulso con una duración $\alpha/2$.
Teniendo en cuenta estas consideraciones e igualando a cero la expresión que determina el valor del ter armónico de la serie de Fourier de la corriente de alimentación, se obtiene el valor del ángulo de disp buscado que lo anula.

$$I_{G3} = \frac{2}{\pi} I_O \int_{\alpha/2}^{\pi/2} \operatorname{sen} 3\theta d\theta = 0{,}9 \frac{1}{3} I_O \cos\frac{3\alpha}{2} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{3\alpha}{2} = \frac{\pi}{2} \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{\pi}{3} \qquad (4.24.1)$$

Para este ángulo de disparo la corriente constante en la carga es determinada a partir del valor la tens media de salida y del valor de la resistencia.

$$I_O = I_{Om} = \frac{V_{Om}}{R} = \frac{1}{R}\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_{Gp}\, d\theta = \frac{V_{Gp}}{R}\left(\frac{\pi - \alpha}{\pi}\right) = \frac{V_{Gp}}{R}\left(\frac{\pi - \pi/3}{\pi}\right) = \frac{2V_{Gp}}{3R}$$

$$I_O = \frac{2 \cdot 100\ \text{V}}{3 \cdot 10\ \Omega} = 6{,}7\ \text{A} \qquad (4.24.2)$$

Por tanto, la corriente media en el diodo de libre circulación es:

$$I_{Dm} = I_O \frac{\alpha}{\pi} = I_O \frac{\pi/3}{\pi} = I_O \frac{1}{3} = \frac{6{,}7\ \text{A}}{3} = 2{,}2\ \text{A} \qquad (4.24.3)$$

Y la corriente media por cada uno de los cuatro tiristores será:

$$I_{Sm} = I_O \frac{\pi - \alpha}{2\pi} = I_O \frac{\pi - \pi/3}{2\pi} = I_O \frac{1}{3} = \frac{6{,}7\ \text{A}}{3} = 2{,}2\ \text{A} \qquad (4.24.4)$$

Apartado 3)

La potencia activa suministrada por la alimentación coincidirá con la consumida en la resistencia de carga, considerando que el resto de los elementos son ideales y no presentan pérdidas.
La potencia consumida por la resistencia es:

$$P_G = P_R = RI_O^2 = 10 \cdot 6{,}7^2 = 444 \text{ W} \tag{4.24.5}$$

El factor de potencia de la alimentación es el cociente entre la potencia activa suministrada y la potencia aparente, obtenida ésta como el producto del valor eficaz de la tensión y el de la corriente de alimentación.
El valor eficaz de la tensión de alimentación es 100 V, mientras que el valor eficaz de la corriente de alimentación, calculado a partir de su forma de onda (Figura 4.24.2) con $\alpha = \pi/3$, es:

$$I_{Gef} = I_O \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} = I_O \sqrt{\frac{2}{3}} = 6{,}7 \sqrt{\frac{2}{3}} = 5{,}4 \text{ A} \tag{4.24.6}$$

Finalmente, el factor de potencia en la alimentación resulta:

$$F_{PG} = \frac{P_G}{S_G} = \frac{P_G}{V_{Gef} I_{Gef}} = \frac{444}{100 \cdot 5{,}4} \approx 0{,}82 \tag{4.24.7}$$

Apartado 4)

La potencia activa suministrada por la componente fundamental es:

$$P_{G1} = V_{G1} \cdot I_{G1} \cos \varphi_1 \tag{4.24.8}$$

Atendiendo a las formas de onda de la tensión y de la corriente de alimentación es posible obtener los valores que intervienen en la expresión anterior. El valor eficaz de la componente fundamental de la tensión de alimentación (que es una onda cuadrada) será:

$$V_{G1} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot V_{Gp} = 0{,}9 \cdot 100 \text{ V} = 90 \text{ V} \tag{4.24.9}$$

el valor eficaz de la componente fundamental de la corriente de alimentación (que presenta una forma de onda semicuadrada) es:

$$I_{G1} = \frac{4}{\pi} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot I_O \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}9 \cdot 6{,}7 \text{ A} \cos \frac{\pi}{6} = 5{,}2 \text{ A} \tag{4.24.10}$$

Teniendo en cuenta los ejes de simetría impar de ambas ondas (tensión y corriente), se determina el ángulo de retardo entre la corriente y la tensión.

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{6} \tag{4.24.11}$$

Sustituyendo los valores anteriores en la expresión de la potencia activa de la componente fundamental

$$P_{G1} = 90{,}5 \cdot 5{,}2 \cos \frac{\pi}{6} \approx 405 \text{ W}$$ (4.24

Por tanto, el porcentaje de potencia transmitido mediante la componente fundamental es:

$$\frac{P_{G1}}{P_G} \% = \frac{405}{444} 100 \approx 91\%$$ (4.24

La potencia activa transmitida por el resto de los armónicos es:

$$P_{GH} = \sum_{h \neq 1} P_{Gh} = P_G - P_{G1} = 444 - 405 = 39 \text{ W}$$ (4.24

La potencia reactiva total es:

$$Q_G = \sqrt{S_G^2 - P_G^2} = \sqrt{540^2 - 444^2} \approx 307 \text{ VAR}$$ (4.24

La potencia reactiva de la componente fundamental resulta:

$$Q_{G1} = V_{G1} I_{G1} \operatorname{sen} \varphi_1 = 90{,}5 \cdot 5{,}2 \operatorname{sen} \frac{\pi}{6} \approx 234 \text{ VAR}$$ (4.24

Por tanto, la potencia reactiva asociada a los armónicos resulta:

$$Q_{GH} = \sum_{h \neq 1} Q_{Gh} = Q_G - Q_{G1} = 307 - 234 = 73 \text{ VAR}$$ (4.24

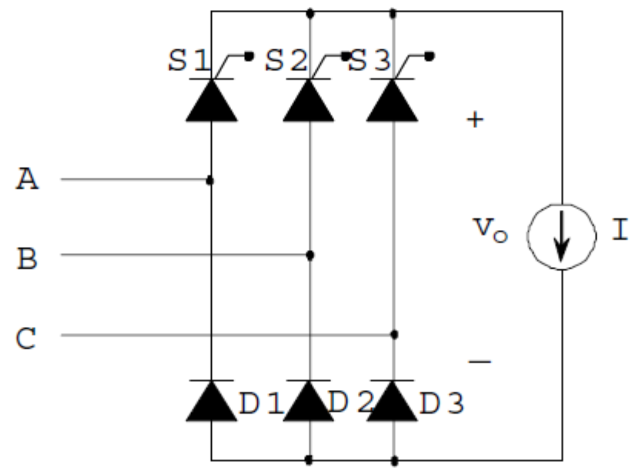
Febrero 2008

PROBLEMA 2. (2,5 puntos)

Se tiene el rectificador trifásico compuesto por tres tiristores y tres diodos, que se representa en la figura. La carga a la que alimenta el rectificador se puede considerar representada por una fuente de corriente continua, I. Se pide:

a) Justificar el rango de variación del ángulo de disparo de los tiristores.

b) Para el ángulo de disparo $\alpha = 30°$, dibujar la forma de onda de tensión en la carga y obtener la expresión de su valor medio en función del ángulo de disparo α. Dibujar la corriente que circula por la fase A. Indicar en cada intervalo qué semiconductor conduce.



E-III Febrero 2001

PROBLEMA 2. (3 puntos)

Se desea cargar 4 baterías de 50V de tensión, siendo el equivalente eléctrico de cada una de ellas el mostrado en la figura 1: fuente de tensión de 50V (invariable) y resistencia de 2Ω. Para cargarlas totalmente, cada batería necesita 10 A·h.

Para cargar estas baterías se dispone del rectificador controlado, mostrado en la figura 2. Este rectificador se conecta a una red trifásica donde cada fuente tiene una amplitud de 300V (212V eficaces) y 50 Hz.

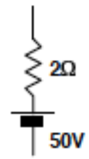


Figura 1

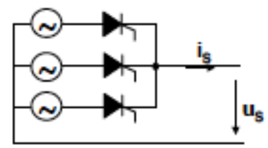
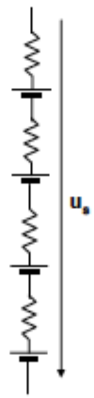
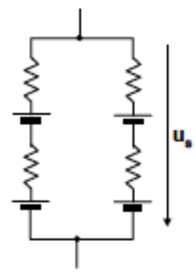


Figura 2

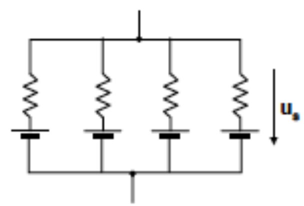
Para colocar las baterías, se prueban 3 configuraciones distintas (A, B y C) mostradas en la figura siguiente.



A) Configuración serie



B) Configuración serie/paralelo



B) Configuración paralelo

En cada una de las configuraciones, los tiristores del rectificador se disparan con un ángulo para que la carga de las baterías se realice en tiempo mínimo, pero asegurando que, en ningún momento, la corriente instantánea por cada batería supere los 100A. Para las tres configuraciones indicadas, responda a las siguientes preguntas:

a) Calcular el ángulo α.

b) Dibujar la forma de onda de tensión y de corriente de salida del rectificador (u_s e i_s)

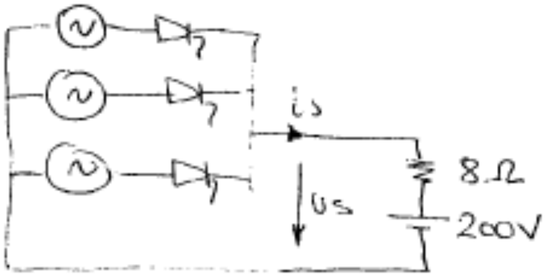
c) Calcular la corriente máxima y media por cada batería.

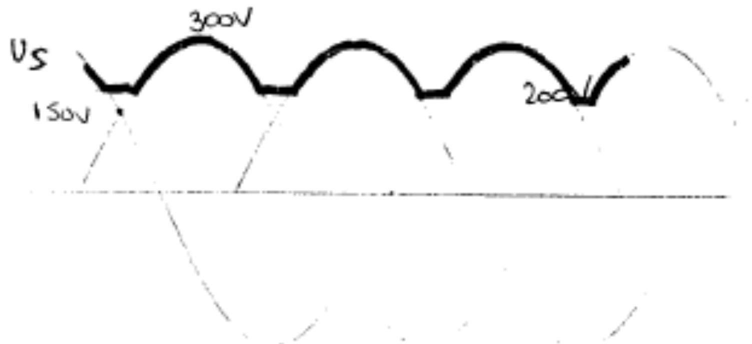
d) Obtener el tiempo necesario para realizar la carga completa de las baterías.

E-III Febrero 2001

P2

A) CONFIGURACION SERIE





$$\varphi = \text{arcsen}\ \frac{200\,V}{300\,V} \simeq 41^\circ$$

$$\alpha = \varphi - 30^\circ \simeq 11^\circ$$

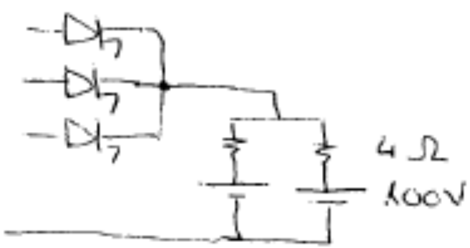
$$i_{MAX} = \frac{300 - 200}{8} = 12'5\ A$$

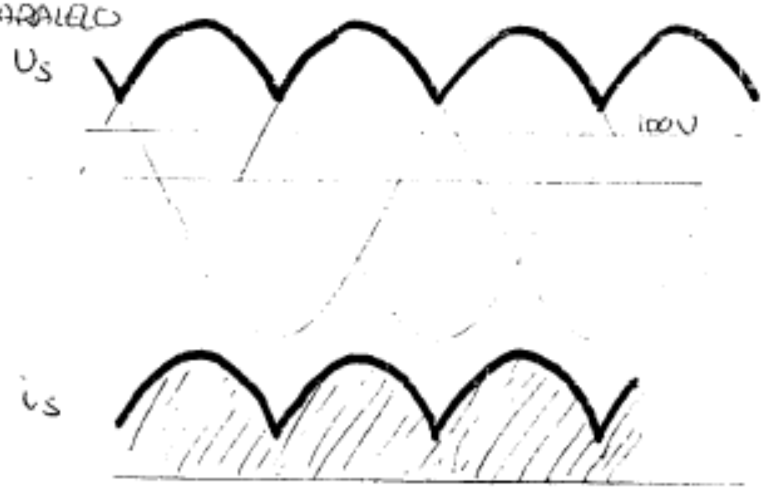
$$i_{MED} = \frac{1}{T}\int_0^T i_s(t)\,dt = \frac{3}{2\pi}\int_{0'71 \equiv 41^\circ}^{2'42 \equiv 139^\circ} \left(\frac{300\,\text{sen}(\omega t) - 200}{8}\right) d(\omega t) = 6'6\ A$$

Se necesitan 1h 31m para cargar las baterías

E-III
Febrero
2001

B) CONFIGURACION SERIE / PARALELO





$\alpha = 0$

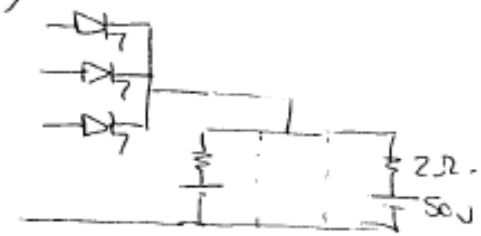
$$i_{MAX} = \frac{300-100}{4} = 50\ A \qquad U_{S,MED} = \frac{nE_P}{\pi}\, \text{sen}\, \frac{\pi}{n} \cos\alpha = 248\ V$$

$$i_{MED} = \frac{U_{S,MED} - 100}{4} = 37\ A$$

Se cargan las baterías en 16 minutos

E-III Febrero 2001

c) CONFIGURACION PARALELO

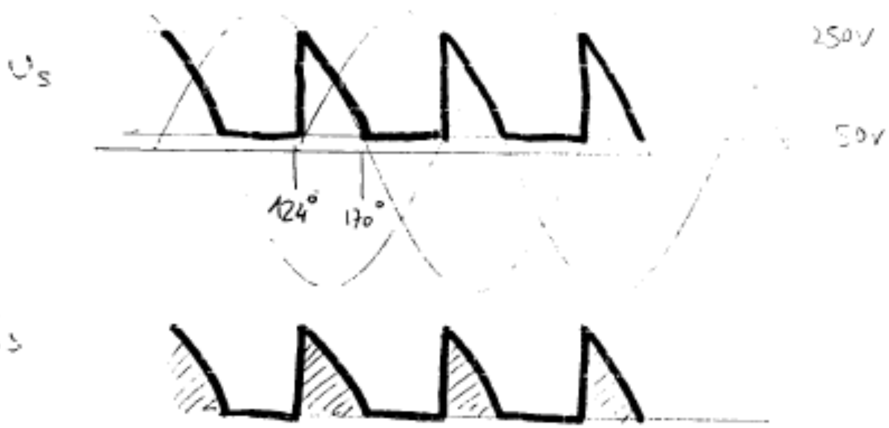


El problema con esta configuración es que en $\omega t=\pi/2$, la corriente por cada batería serie $125A > 100A$. Por tanto α deberá ser mayor que 60° para evitar esto.

$$i_{MAX}=100=\frac{v_{MAX}-50}{2} \Rightarrow v_{MAX}=250V$$

$$\varphi=\arcsin\frac{250\,V}{300\,V} \rightarrow \varphi=56^\circ$$

$$\rightarrow \boxed{\varphi=124^\circ} \Rightarrow \alpha=\varphi-30^\circ=94^\circ$$



$$i_{MED}=\frac{3}{2\pi}\int_{2'16=124^\circ}^{2'96=170^\circ}\left(\frac{300\,\mathrm{sen}(\omega t)-50}{2}\right)=21'1\,A$$

Tiempo de carga: 28 minutos.

Asignatura: Electrónica de Potencia (1194)
Especialidad: Automática y Electrónica

Fecha: 10/09/2008
Convocatoria: Septiembre

Publicación de notas: 30/09/2008

Revisión: 03/10/2008 a las 10:00 h.
Duración: 2 h. 30 m.

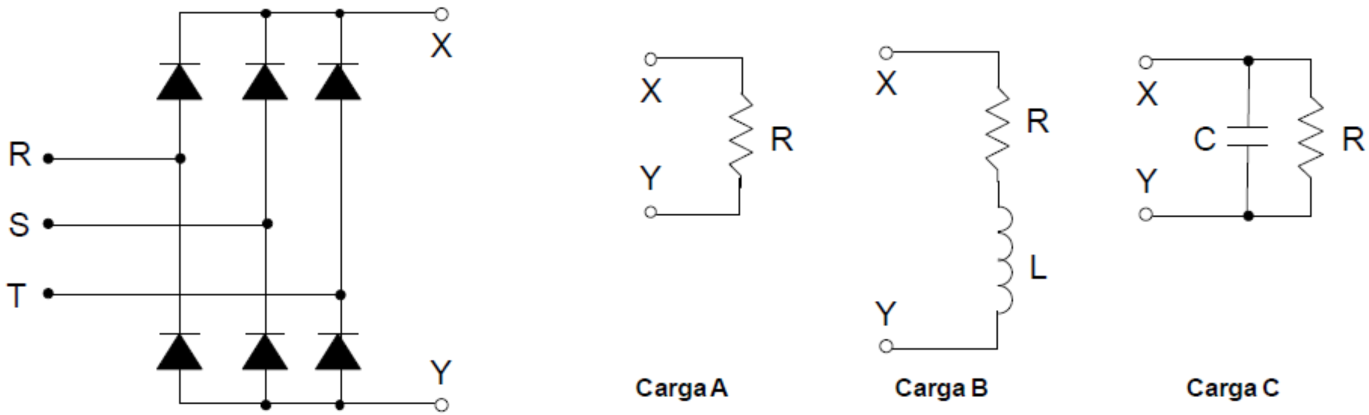
PROBLEMA 1. (2,5 puntos)

El rectificador trifásico de la figura se alimenta desde una fuente trifásica 220V/380V de valor eficaz y 50Hz de frecuencia. Entre los terminales (x, y) de salida se pueden conectar las cargas ***A***, ***B*** o ***C*** de la figura.

Se pide para cada una de las cargas:

a) Calcular y representar gráficamente la tensión u_e y la intensidad en la carga indicando su valor de pico y su valor medio, asumiendo el puente rectificador ideal.

b) Lo mismo si los diodos presentan características reales. V_γ=1V; r_d=1Ω



Datos: R=10Ω L=10H C=100mF

CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

DC/DC

Problemas

cei@upm.es

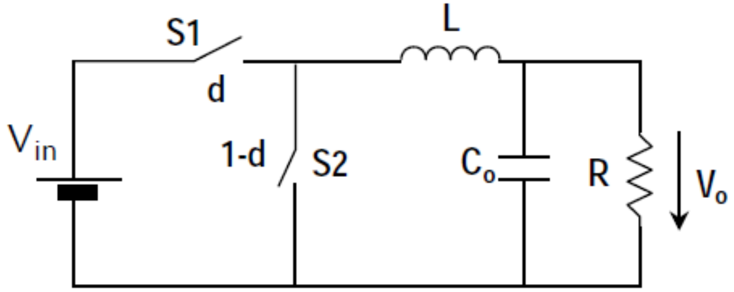
Universidad Politécnica de Madrid

POLITÉCNICA

Febrero 2010

EJERCICIO 2. (2,5 puntos)

El convertidor CC/CC reductor (Buck) de la figura se controla variando el ciclo de trabajo "d" para tener una tensión de salida constante $V_o=5V$.



Se pide:

a) Calcular el ciclo de trabajo *"d"* para un margen de variación de tensión de entrada $15V \leq V_{in} \leq 25V$.
b) Calcular la potencia entregada a la carga (P_o) y la intensidad en la bobina (i_L).
c) Dibujar las formas de onda de intensidad en *S1* y *S2* para $V_{in}=15V$, $V_{in}=20V$ y $V_{in}=25V$.
d) Calcular las pérdidas en *S1* y *S2* para $V_{in}=15V$, $V_{in}=20V$ y $V_{in}=25V$, sabiendo que el equivalente eléctrico de *S1* en conducción es $R_{on}=10m\Omega$ y el de *S2* es $V_\gamma=0,4V$.

Datos:
Valores de L y C_o suficientemente elevados como para poder despreciar el rizado de *i* en la bobina y de V_o en C_o a la frecuencia de conmutación

f_s= 500kHz R=0,5Ω

Primer parcial 1998

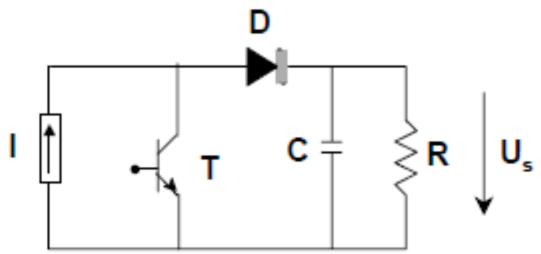
1. En el convertidor de la figura, el transistor *T* trabaja con una frecuencia de conmutación *f* constante y con un ciclo de trabajo *d*. A la salida del convertidor se coloca una carga resistiva de valor *R*. Obtener, en función de I, R, C, d y f, las siguientes expresiones:

   a) Potencia de salida (asumir U_S constante).

   b) Rizado (pico a pico) de la tensión de salida.

   c) Indicar el valor máximo que pueden tomar las siguientes magnitudes:

   - Tensión en el transistor
   - Tensión en el diodo
   - Corriente media y eficaz en el transistor
   - Corriente media y eficaz en el diodo
   - Tensión de salida
   - Rizado de la tensión de salida



Prueba de Evaluación Continua marzo 2014

Asignatura: Electrónica de Potencia (GITI)
Especialidad: Automática y Electrónica

Fecha: 31/03/2014
Convocatoria: Prueba de Evaluación Continua

PROBLEMA 1. (5 puntos)

Se dispone de un panel solar que genera 24Vcc, y tiene una resistencia de salida de 1Ω. Se pretende entregar la máxima potencia posible a unas baterías de 48V_{cc}, para lo que se conecta el panel a las baterías mediante un convertidor CC-CC de tipo "Elevador" (Boost)

Asumiendo todos los componentes ideales, y que los valores de L y C del convertidor CC-CC son suficientemente elevados como para que no cambien significativamente en un ciclo de conmutación su intensidad y su tensión, respectivamente, se pide:

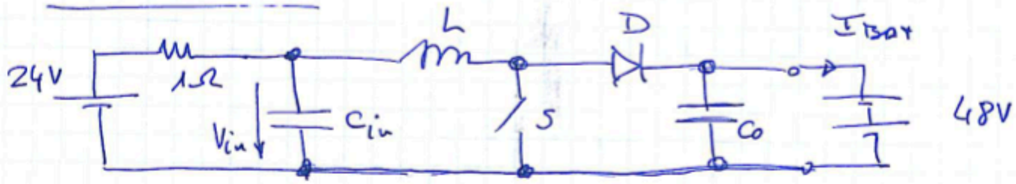
a) Obtener la ganancia del convertidor ($M=V_o/V_{in}$) en función del ciclo de trabajo $d=t_{on}/T$ del interruptor principal

b) Calcular la tensión de entrada del convertidor CC-CC, V_{in}, indicando el valor del ciclo de trabajo para el que se produce.

c) Representar gráficamente, para los valores anteriores, las formas de onda de la intensidad por la bobina y por el condensador

Prueba de Evaluación Continua marzo 2014

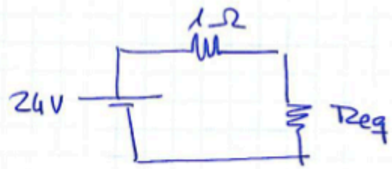
PROBLEMA 1



a) $V_{in} \cdot d = (V_o - V_{in})(1-d)$

$$0 = V_o(1-d) - V_{in} \Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1-d}}$$

b)

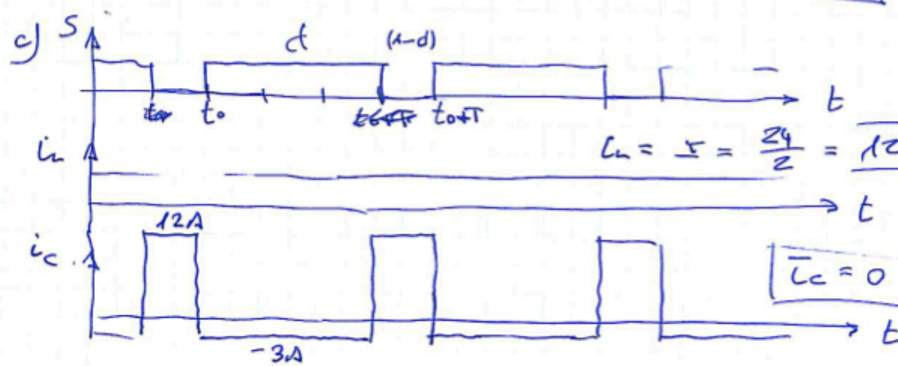


Para $R_{eq} = 1\Omega \Rightarrow P_{máx}$ en R_{eq}.

$$\Rightarrow \boxed{V_{in} = 12V}$$

$$\frac{48}{12} = \frac{1}{1-d} = 4 \Rightarrow \boxed{d = \frac{3}{4} = 75\%}$$

c)



$i_L = I = \frac{24}{2} = \boxed{12A}$

$\boxed{\bar{I}_c = 0}$

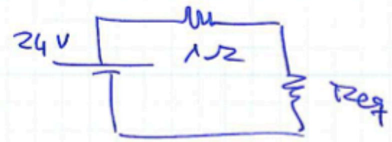
$$P_{in} = P_o = \frac{V_{in}^2}{R_{eq}} = \frac{12^2}{1} = \boxed{144\,W}$$

$$I_o = \frac{P_o}{V_{BAT}} = \frac{144}{48} = \boxed{3A}$$

Prueba de Evaluación Continua marzo 2014

Anexo:

* Potencia máxima; de entrada al convertidor, ya que $P_{in} = P_{out}$



$$P_{in} = \left(\frac{24}{(1+R_{eq})}\right)^2 \cdot R_{eq}$$

Calculamos la Req que maximiza Pin:

$$\frac{dP_{in}}{dR_{eq}} = 0 = \frac{d}{dR_{eq}}\left[\frac{R_{eq}}{(1+R_{eq})^2}\right]$$

$$\frac{(1+R_{eq})^2 - 2(1+R_{eq})}{(1+R_{eq})^4} = 0$$

$$1 + R_{eq}^2 + \cancel{2R_{eq}} - 2 - \cancel{2R_{eq}} = 0$$

$$R_{eq}^2 = 1 \Rightarrow \boxed{R_{eq} = 1}$$

* También podemos calcularlo maximizando Pout:

$$P_o = 48 \cdot \bar{I}_D = 48 \cdot [I_L \cdot (1-d)]$$

$$I_L = 24 - V_{in} = 24 - 48(1-d) = -24 + 48d$$

$$P_o = 48 \cdot [(-24 + 48d)(1-d)]$$

$$0 = \frac{dP_o}{dd} = \frac{d}{dd}((2d-1)\cdot(1-d)) = \frac{d}{dd}[2d - 1 - 2d^2 + d]$$

$$= \frac{d}{dd}(-2d^2 + 3d - 1) = -4d + 3 = 0 \Rightarrow \boxed{d = \frac{3}{4}}$$

Febrero 2006

PROBLEMA 1. (4 puntos)

En el convertidor directo (forward) de la figura 1, considerando el transformador ideal y despreciando el rizado de tensión en el condensador de salida (C_{o1}), se pide:

a) Calcular el valor mínimo de L para que el convertidor trabaje en modo de conducción continuo.

b) Calcular la tensión de salida V_{o1}, en las condiciones de a).

c) Representar gráficamente las intensidades que circulan por L y por R_1.

Asumiendo ahora que el transformador tiene inductancia magnetizante, se añade al transformador un devanado adicional (figura 2) para generar una tensión auxiliar en el convertidor (V_{o2}) que alimente al circuito de control, que necesita 12V y consume 100mA.

Se pide:

d) Calcular el resto de parámetros del transformador (R_{el} , n_2).

e) Representar gráficamente las intensidades i_p, i_1, i_2 y el flujo en el transformador.

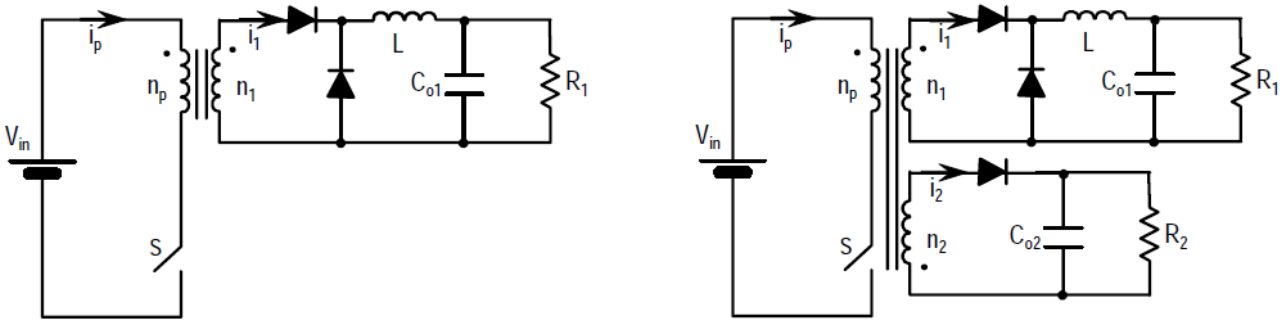


Figura 1 **Figura 2**

Datos

V_{in} = 50V n_p = 10 R_1 = 1Ω n_1 = 4 d = 25% f_s = 250kHz

Junio 2004

PROBLEMA 2. (4 puntos)

En el convertidor CC/CC de la figura, se supone que el transformador es ideal y que los elementos reactivos, inductancias y capacidades, son suficientemente grandes como para despreciar los rizados de corriente y tensión respectivamente. Siendo la frecuencia de conmutación 100kHz y sabiendo que los interruptores de primario se controlan con la ley indicada en la figura, se pide:

a) Determinar de forma razonada la tensión de salida en función de la tensión de entrada y el ciclo de trabajo '*d*'. ¿Cuál es el ciclo de trabajo que se necesita para regular la tensión de salida a 20V?

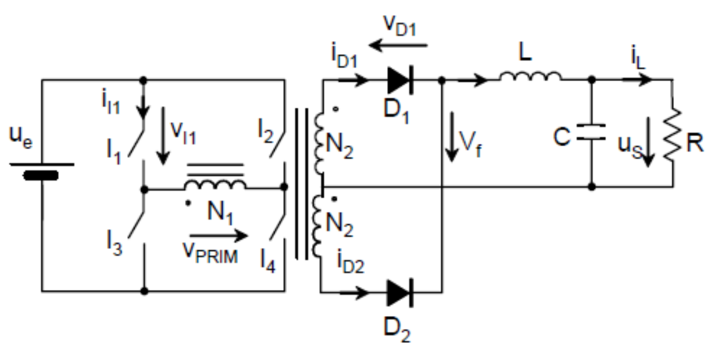
b) Para el ciclo de trabajo del apartado anterior, dibujar la evolución de las señales i_{T1}, v_{I1}, v_{PRIM}, i_{D1}, i_{D2}, v_{D1}, v_f e i_L, indicando los valores principales.

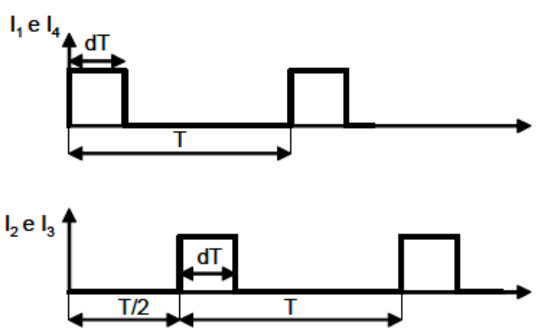
c) Razonar qué transistores utilizaría para realizar la función de los interruptores de primario y dibujar el convertidor.

Para considerar un modelo más real del transformador, se considera la inductancia magnetizante del mismo, siendo su valor 2mH vista desde primario. Considerando la inductancia magnetizante del transformador, se pide:

d) Determinar, de forma razonada, el valor medio de la corriente magnetizante así como su rizado pico a pico.

e) Dibujar las corrientes i_{I1}, i_{D1}, i_{D2} e i_L, teniendo en cuenta la corriente magnetizante.





Datos: U_e=400V N_1/N_2 = 10/1 R = 2Ω

Segundo parcial 2004

PROBLEMA 2. (2,5 puntos)

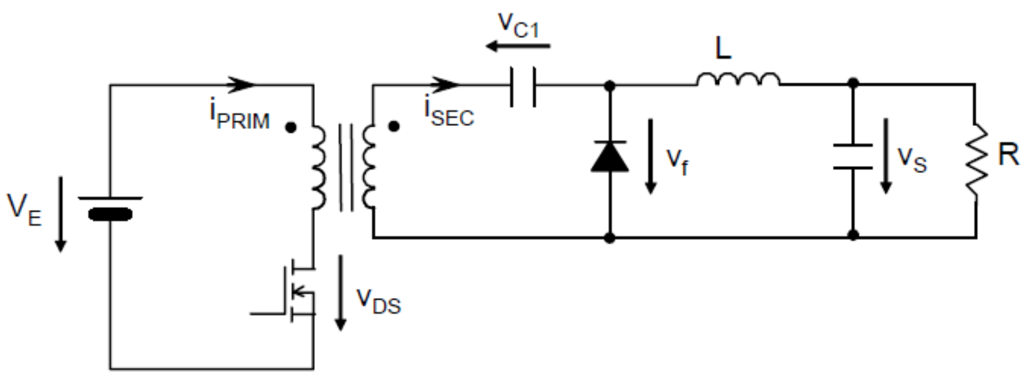
El circuito de la figura es un convertidor CC/CC conmutado. Suponiendo todos los elementos reactivos, inductancias y capacidades, suficientemente grandes como para despreciar los rizados, de corriente y de tensión respectivamente, se pide:

a) Obtener de forma razonada la expresión del valor medio de v_s y v_{c1} en función del ciclo de trabajo 'd' y la tensión de entrada V_E.

b) Valor medio de la corriente magnetizante así como el sentido de circulación.

c) Dibujar la forma de onda de las señales i_{PRIM}, i_{SEC}, v_f y v_{DS} indicando los valores más significativos.

d) En su opinión, la transferencia de energía en esta topología, ¿es de tipo "forward" o de tipo "flyback"? ¿Por qué?



Primer parcial 1998

1. El convertidor continua-continua de la figura es un *forward* (o convertidor directo) en el que se ha optado por quitar el tercer devanado del transformador (devanado desmagnetizador) para llevar a cabo la desmagnetización a través del diodo *D3* y la resistencia R_D. La inductancia magnetizante del transformador L_M, vista desde el pimario, vale 1mH y la frecuencia de conmutación del transistor f_c 100kHz. En este circuito todos los elementos se consideran ideales y los elementos reactivos del filtro *L* y *C* se pueden considerar suficientemente grandes..

   a) Calcular el ciclo de trabajo del transistor (*d*) para obtener a la salida una tensión igual a 5V. Dibujar la corriente por *D1, D2* y *T1*.

   b) Dibujar la corriente por el diodo *D3* y la tensión en *T1*. Calcular la R_D límite que asegura la desmagnetización del transformador.

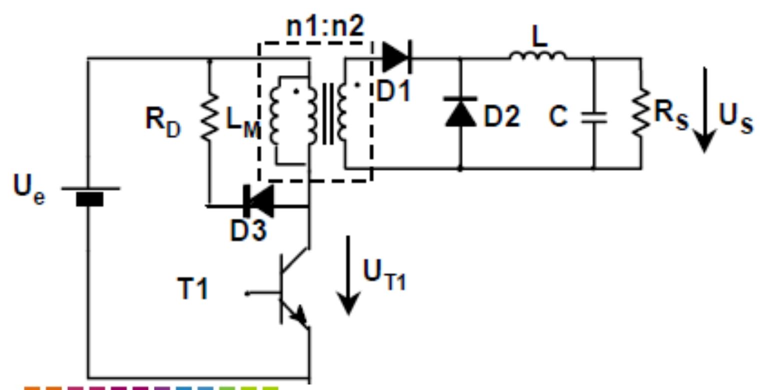
   c) Calcular la disipación de potencia en la resistencia R_D.

   d) Obtener una expresión genérica que relacione la tensión máxima en el transistor *T1* con el ciclo de trabajo máximo (teniendo en cuenta la R_D límite para cada ciclo de trabajo).

   e) Indicar razonadamente qué otras posibles soluciones (aparte de variar el valor de R_D) pueden plantearse si se quisiesen conseguir ciclos de trabajo grandes. Indicar las consecuencias que tendrían.

   Nota: Se supone que una ecuación de evolución exponencial decreciente alcanza su régimen permanente en un tiempo igual a 3τ.

Datos
U_e=50V
U_S=5V
n_1=5
n_2=2
f_c=100kHz
L=1mH
R_{SALIDA}=0,5Ω



Febrero 2008

Asignatura: Electrónica de Potencia (1194)
Especialidad: Automática y Electrónica

Fecha: 30/01/2008
Convocatoria: Febrero

Publicación de notas: 15/02/2008

Revisión: 22/02/2008

PROBLEMA 1. (2,5 puntos)

El convertidor CC/CC de la figura es del tipo Watkins-Johnson. Asumiendo todos los componentes ideales y el valor de C suficientemente grande como para despreciar su rizado de tensión en un ciclo de conmutación, se pide:

a) Representar gráficamente la ganancia de tensión (V_o/V_{in}), en modo de conducción continuo, en función del ciclo de trabajo.

b) Calcular el ciclo de trabajo D para que V_o=25V.

c) Calcular y representar gráficamente las intensidades por el interruptor y el diodo ($i_S(t)$ e $i_D(t)$) en dos ciclos de conmutación.

d) Calcular y representar gráficamente la intensidad $i_{in}(t)$ y la potencia de entrada $P_{in}(t)$.

e) Valorar cualitativamente el rendimiento del convertidor, comparándolo con otros convertidores CC/CC.

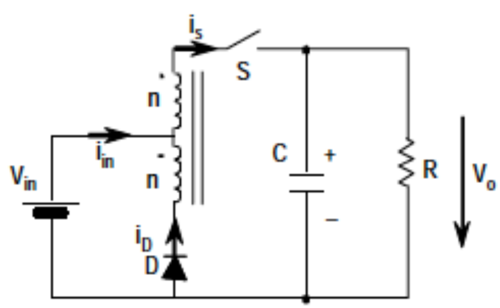
Datos

V_{in}=50V

R=10Ω

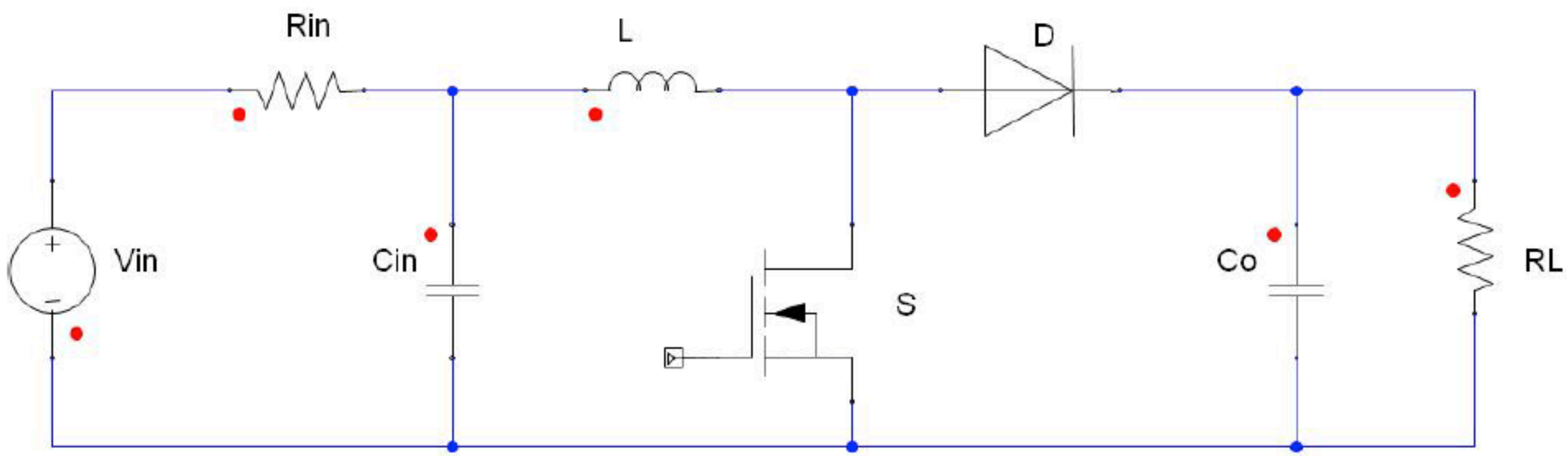
L_{mag}=1mH

F_s=300kHz



Septiembre 2009

El circuito de la figura es un convertidor CC/CC elevador, que se alimenta desde una fuente de tensión continua (Vg=48V) que tiene impedancia de salida (Rin=100mΩ).

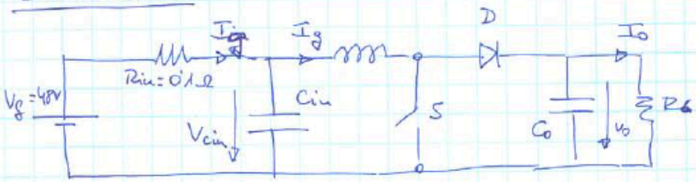


Asumiendo todos los componentes ideales, y que los elementos reactivos tienen un valor suficientemente elevado como para despreciar el rizado en ellos a la frecuencia de conmutación, se pide:

1) Obtener las ecuaciones, y representar gráficamente en función del tiempo las tensiones en Co y Cin, y las intensidades que circulan por Rin, Cin y S
2) Calcular y representar gráficamente la tensión de salida (Vo) respecto a la resistencia de carga (R_L), si ésta puede variar en el margen $1\Omega < R_L < 10\Omega$ para d = 0,2
3) Calcular la variación del ciclo de trabajo (d) para regular la tensión de salida (Vo) en 400V si la resistencia de carga (R_L) puede variar en el margen $1\Omega < R_L < 10\Omega$
4) Calcular la potencia máxima que se puede entregar a la carga, indicando para qué valores de ciclo de trabajo (d) y carga (R_L) se produciría
5) Calcular la tensión de salida máxima que se puede obtener en la carga, indicando para qué valores de ciclo de trabajo (d) y carga (R_L) se produciría

Septiembre 2009

EJERCICIO 3



1) 2

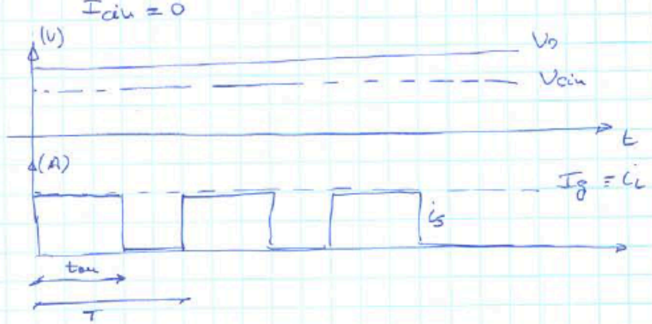
$$V_o = V_{cin} \cdot \frac{1}{1-d}$$

$$V_{cin} = V_g - 0'1\, I_g$$

$$V_{cin} \cdot I_g = \frac{V_o^2}{R_L}$$

3 ecs con 5 incógnitas.

$I_{cin} = 0$



2) 2

$d = 0'2$

$1 \le R_L \le 10$

Nos quedan 3 ecs con 3 incógnitas.

$$V_o = \frac{V_{cin}}{0'8} = 1'25 \cdot V_{cin}$$

$$V_{cin} = 48 - 0'1\, I_g$$

$$V_{cin} \cdot I_g = \frac{V_o^2}{R_L}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_o = \frac{384\, R_L}{1 + \frac{32}{5} R_L}}$$

3) 2

$V_o = 400$ V

$1 < R_L < 10$

$$1 - d = \frac{V_{cin}}{400} \Rightarrow \boxed{d = 1 - \frac{V_{cin}}{400}}$$

$$V_{cin} = 48 - 0'1\, I_g$$

$$V_{cin} \cdot I_g = \frac{160.000}{R_L}$$

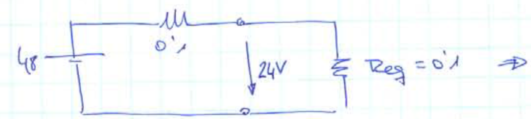
$$\Rightarrow V_{cin}^2 - 48\, V_{cin} + \frac{16.000}{R_L} = 0$$

$R_L = 1 \longrightarrow V_{cin} = 24 \longrightarrow d = 0'94$

$R_L = 10 \longrightarrow V_{cin} =$

4) 2

$P_{máx}$



$\Rightarrow$

$V_{cin} = 24$ V

$I_g = 240$ A

$$P_{in} = P_o = \frac{24^2}{0'1} = \boxed{5760 W}$$

$$R_L \cdot I_g (1-d) = \frac{24}{1-d}$$

$$R_L \cdot (1-d)^2 = \frac{24}{240} = \frac{1}{10} \Rightarrow \boxed{R_L = \frac{1}{10(1-d)^2}}$$

5) 2

$V_{o\,máx}$

Para $R_L = \infty$ (sin carga, circ. abierto) V_o crecería indefinidamente con cualquier d.

CEI UPM

Centro de Electrónica Industrial

Inversores

Problemas

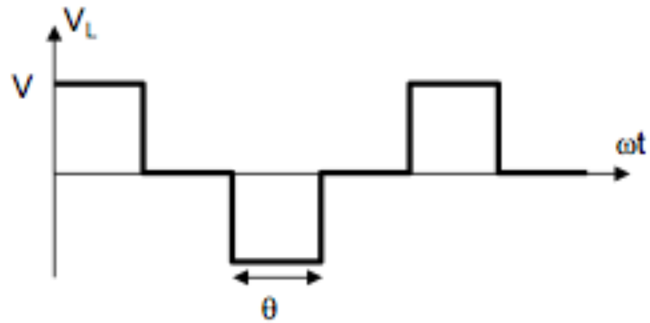
cei@upm.es

POLITÉCNICA

Febrero 2010

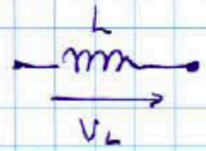
EJERCICIO 4. (2 puntos)

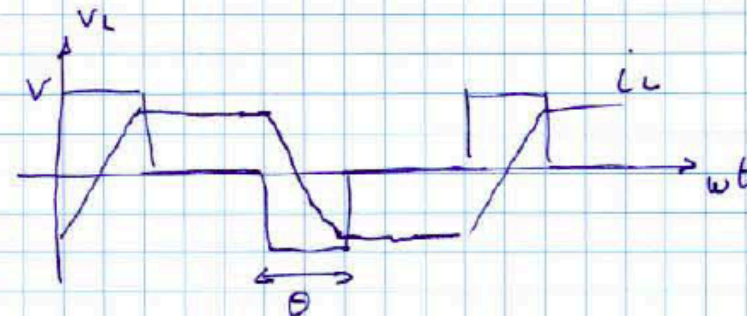
A una bobina de valor L se le aplica una tensión periódica como la representada en la figura, en la que varían θ y V, pero se mantiene constante el valor eficaz de tensión.



Se pide calcular el rizado de intensidad de la bobina (Δi_L) en función del valor del ángulo θ. Represente gráficamente esta función.

PROBLEMA 4

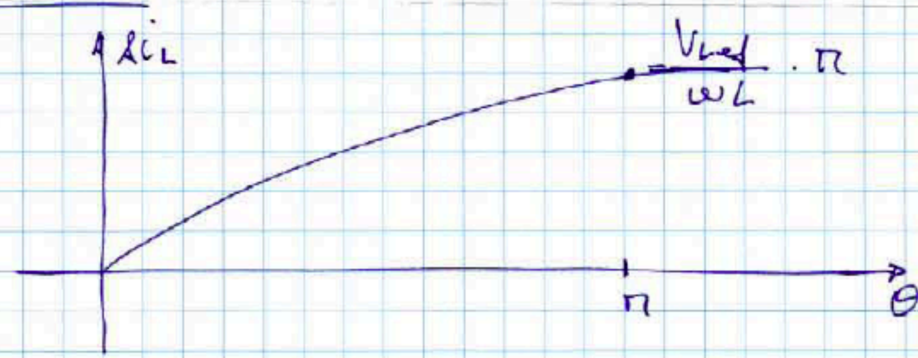




$$V_{Lef} = V \cdot \sqrt{\frac{\theta}{\pi}} \quad ; \quad u = L\,\frac{di}{dt} \Rightarrow \Delta i = \frac{u}{L}\cdot \Delta t$$

$$\boxed{\Delta i_L = \frac{V}{L}\cdot\frac{\theta}{\omega}} = \frac{1}{\omega L}\cdot\theta\cdot V_{Lef}\sqrt{\frac{\pi}{\theta}} = \boxed{\frac{V_{Lef}}{\omega L}\cdot\sqrt{\pi\cdot\theta}}$$

Gráficamente:



Primer parcial 2002

Asignatura: Electrónica III (Electrónica de Potencia)
Especialidad: Automática y Electrónica

Examen: 1er parcial
Fecha: 29 de enero de 2002

2,5 puntos

4

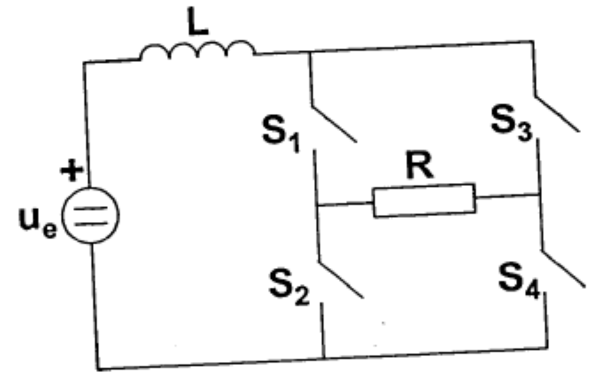
El inversor representado en la figura, gracias a la bobina L de valor muy elevado, se alimenta como si lo hiciera aproximadamente desde una fuente de corriente. Si se disparan los interruptores con las señales de control indicadas a una frecuencia de 50 Hz.

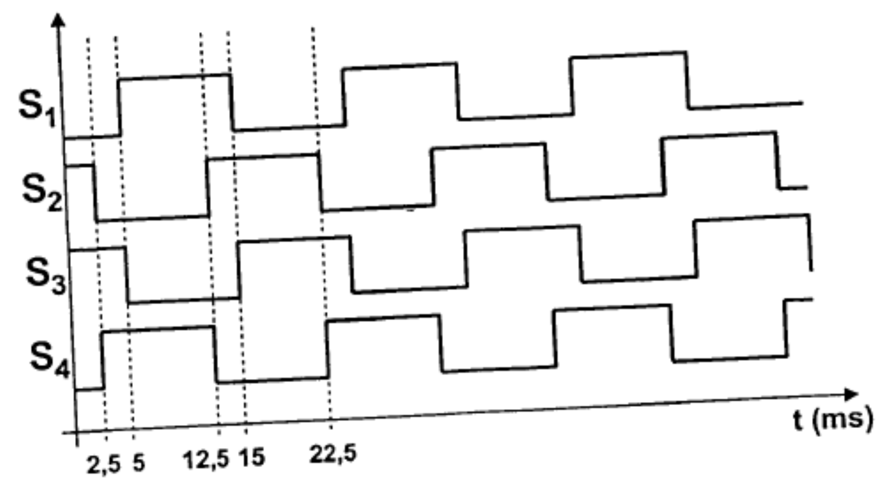
a) Represente la forma de onda de la corriente en la carga

b) Calcule la potencia entregada a la carga

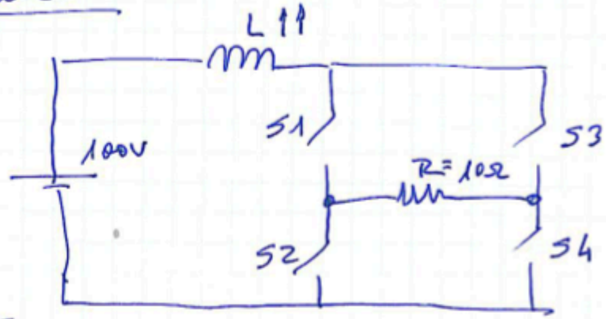
c) Calcule la corriente media y máxima por cada interruptor

DATOS: $u_e = 100$ V; $R = 10\ \Omega$

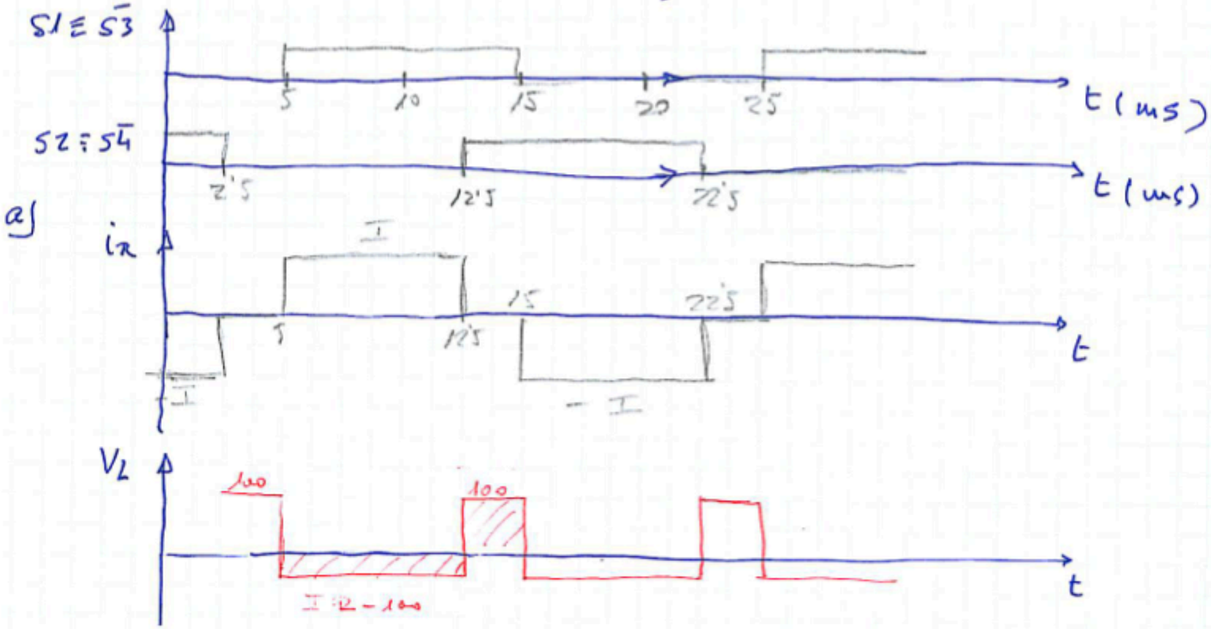




Solución:



a)



$$7'5\,(I \cdot R - 100) = 2'5 \cdot 100$$

$$3(I - 10) = 10 \Rightarrow \boxed{I = 13'\overline{3}\,A}$$

b)

$$P_R = I_{ef}^2 \cdot R = \left[I \cdot \sqrt{\frac{7'5}{10}} \right]^2 \cdot R = 13'3^2 \cdot \frac{7'5}{10} \cdot 10 = \boxed{1333\ W}$$

$$P_{in} = 100 \cdot \bar{I}_L = 100 \cdot I = \boxed{1333\ W}$$

c)

$$\boxed{\begin{aligned} i_{S\,máx} &= I = 13'3\,A \\ \bar{I}_S &= \frac{I}{2} = 6'\overline{6}\,A \end{aligned}}$$

Enunciado. Problema 7.1

Un inversor monofásico en medio puente con carga resistiva $R = 5\ \Omega$ (véase la Figura 7.1.1) está alimentado con V_G, siendo la frecuencia de conmutación: $f_S = 2050$ Hz. Se pide:

1) En el caso de trabajar en onda cuadrada, rellenar una tabla que contenga los valores eficaces de la tensión de salida, V_{Onef}, y de la corriente de salida, I_{Onef}, para los cinco primeros armónicos.
2) A partir de los datos obtenidos en el apartado anterior, calcular la potencia disipada por la carga.
3) Calcular la tensión y corrientes de los IGBT que forman el medio puente.

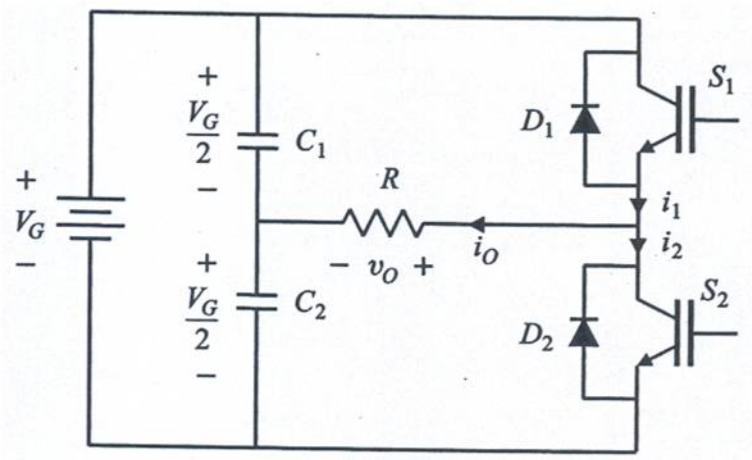


FIGURA 7.1.1 Inversor monofásico en medio puente que alimenta a una carga resistiva.

$V_G = 750$V

Solución. Problema 7.1

Apartado 1)

El valor eficaz del armónico fundamental de la tensión toma el valor:

$$V_{O1ef} = \frac{4}{\pi}\frac{V_G}{2\sqrt{2}} = 0{,}9\,\frac{V_G}{2}$$

$$V_{on,ef} = V_p \frac{2\sqrt{2}}{n\cdot\pi}\cdot sen\left(n\frac{\theta}{2}\right)$$

Orden de armónico, n	V_{Onef}	I_{Onef}
1	337,5 V	67,5 A
3	112,5 V	22,5 A
5	67,5 V	13,5 A
7	48,21 V	9,642 A
9	37,5 V	7,5 A

Apartado 2)

Considerando como significativos los armónicos del apartado anterior, la potencia de la carga toma el valor:

$$P_O = \frac{(V_{O1ef})^2}{R} + \frac{(V_{O3ef})^2}{R} + \frac{(V_{O5ef})^2}{R} + \frac{(V_{O7ef})^2}{R} + \frac{(V_{O9ef})^2}{R} = 26{,}97 \text{ kW}$$

$P_o = 375^2 / 5 = 28.125\text{W}$

Apartado 3)

La tensión que soportan los IGBT cuando están conduciendo es:

$$v_{T\_ON} = v_{CE,sat} \approx 0 \text{ V}$$

mientras que cuando están cortados toma el valor:

$$v_{T\_OFF} = V_G \approx 750 \text{ V}$$

En cuanto a la corriente del IGBT cuando están conduciendo toma el valor:

$$i_{T\_ON} = (67{,}5\sqrt{2}\,\text{sen}(\omega t) + 22{,}5\sqrt{2}\,\text{sen}(3\omega t) + 13{,}5\sqrt{2}\,\text{sen}(5\omega t) + 9{,}642\sqrt{2}\,\text{sen}(7\omega t) + 7{,}5\sqrt{2}\,\text{sen}(9\omega t) + \ldots)A$$

mientras que cuando están cortados vale:

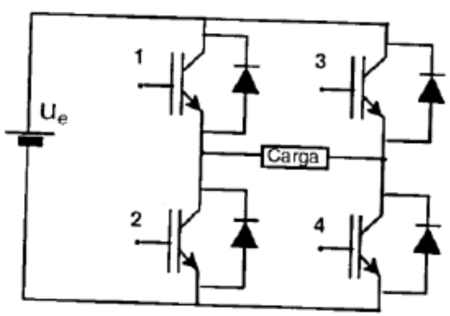
$$i_{T\text{-}OFF} = 0$$

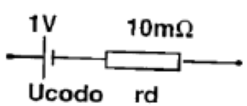
Problema

El circuito de la figura es un inversor monofásico controlado por ancho de pulso alimentado desde una fuente de tensión de 400V. La duración del pulso de tensión aplicado a la carga es de 120 º y la frecuencia de conmutación de 10kHz.

Sabiendo que la carga consume una intensidad puramente senoidal, con un cos φ = 0,866 respecto al armónico fundamental de la tensión aplicada, y una potencia activa de 2 kW, se pide:

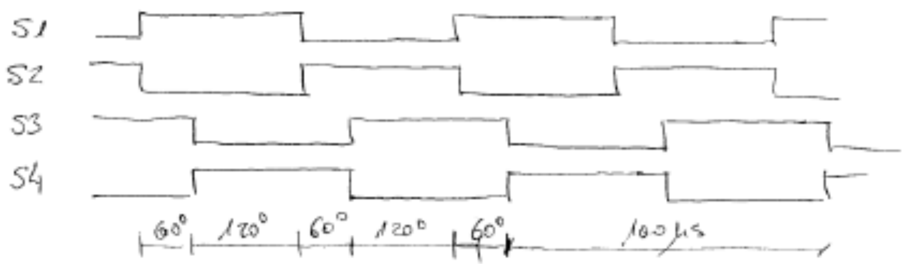
a) Dibujar los pulsos de disparo de puerta de los cuatro IGBT
b) Dibujar la forma de onda de tensión e intensidad en la carga, acotando sus valores más significativos (especifique claramente el valor de pico de la intensidad).
c) Dibujar la forma de onda de tensión e intensidad en todos los semiconductores de potencia.
d) Calcular el valor medio y eficaz de la intensidad por cada uno de los dispositivos.
e) Sabiendo que tanto los diodos como los IGBT presentan el mismo equivalente eléctrico en conducción (representado en la figura), y que las pérdidas por conmutación son despreciables, calcule las pérdidas en todos los dispositivos.
f) Calcule si sería posible, y en caso afirmativo conveniente, sustituir los IGBT por MOSFET de R_{DSon} = 100 mΩ
g) Comente brevemente qué repercusión tendría un incremento en el cos φ de la carga sobre las potencias activa y reactiva consumidas por la carga.



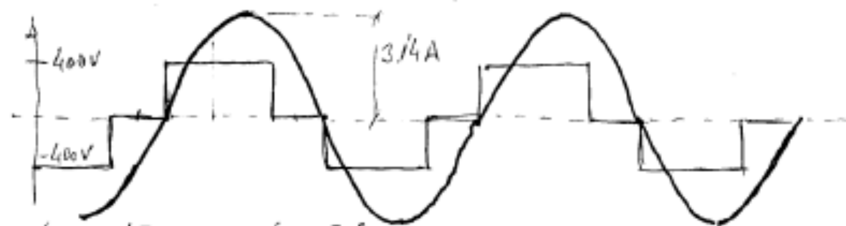


Problema

a)



b)

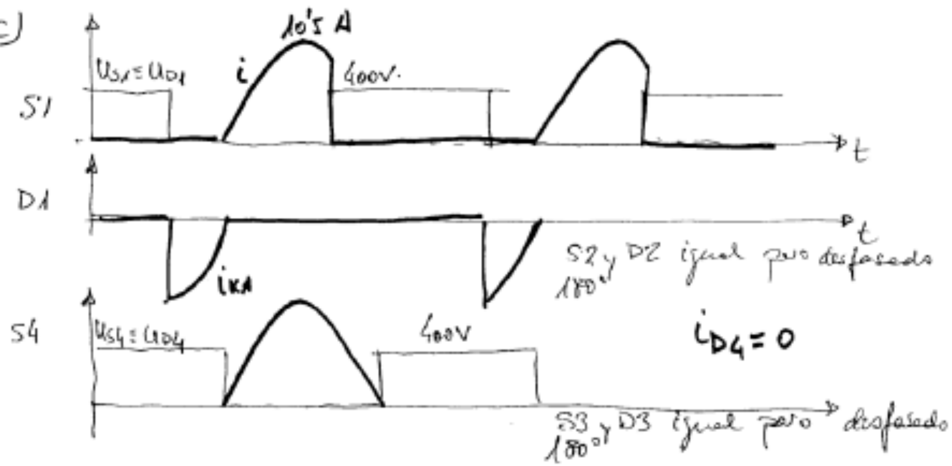


$\cos\varphi = 0'866 \Rightarrow \varphi = 30°$

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T u\, i\, dt = \frac{1}{\pi}\int_0^{\frac{2\pi}{3}} 400 \cdot I_p \cdot \operatorname{sen}\omega t \; d\omega t = 2kW$$

$$2kW = \frac{400 \cdot I_p}{\pi} \cdot \left[-\cos\omega t\right]_0^{2\pi/3} = \frac{400\, I_p}{\pi}\cdot\left(1+\frac{1}{2}\right) \Rightarrow \boxed{I_p = 10'5A}$$

c)



Problema

d) $\bar{I}_{S1} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi/3} 10'5 \cdot \operatorname{sen}\omega t \, d\omega t = \frac{10'5}{2\pi}\left[1 + \cos\frac{2\pi}{3}\right] = \frac{10'5}{4\pi}\cdot 3$

$\boxed{\bar{I}_{S1} = 2'5A = \bar{I}_{S2}}$

$i_{efS1} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi/3} 10'5^2 \operatorname{sen}^2\omega t \, d\omega t} = \sqrt{\frac{10'5^2}{2\pi}\cdot\frac{1}{2}\cdot\left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4}\right]} = 4'7A$

$\boxed{i_{efS1} = i_{efS2} = 4'7A.}$ $\quad i_{efD1} = \sqrt{\frac{10'5^2}{2\pi}\cdot\frac{1}{2}\left[\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4}\right]}$

$\boxed{\bar{I}_{D1} = \bar{I}_{D2} = \frac{10'5}{\pi} - 2'5 = 0'84A}$ $\boxed{i_{efD1} = i_{efD2} = 2'32}$

$\bar{I}_{S4} = \bar{I}_{S3} = \frac{10'5}{\pi} = 3'3A$

$i_{efS4} = i_{efS3} = \frac{10'5}{\sqrt{2}}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}} = \boxed{5'25A}$

$\boxed{\bar{I}_{D3} = \bar{I}_{D4} = i_{efD3} = i_{efD4} = 0}$

e) $P = \bar{I}\cdot u_{codo} + i_{ef}\cdot r_d = \bar{I}\cdot 1V + i_{ef}\cdot 10m\Omega$

$= \bar{I} + 0'01\, i_{ef}$

$P_{S1} = P_{S2} = 2'547$

$P_{S3} = P_{S4} = 3'35$

$P_{D1} = P_{D2} = 0'86$

$P_{D3} = P_{D4} = 0$

f) Los niveles de intensidad son aceptables para un MOSFET

Calculamos las pérdidas:

$\left.\begin{array}{l} P_{S1} = P_{S2} = i_{ef}^2 \cdot R_{DSon} = 4'7^2\cdot 0'1 = 2'2\,W \\ P_{S3} = P_{S4} = \quad '' \quad = 5'25^2\cdot 0'1 = 2'7\,W \end{array}\right\}$ Sí conviene.

CEI UPM

POLITÉCNICA

Enunciado. Problema 7.2.

En el circuito de la Figura 7.2.1, $R = 20\ \Omega$ y $L = 50$ mH. Los transistores se controlan para generar una onda de tensión cuadrada de 100 Hz de frecuencia (siendo T su periodo), de manera que:

$$0 \leqslant t \leqslant T/2 \quad \Rightarrow \quad S_1 \text{ ON}, \qquad S_2 \text{ OFF}$$
$$T/2 \leqslant t \leqslant T \quad \Rightarrow \quad S_1 \text{ OFF}, \qquad S_2 \text{ ON}$$

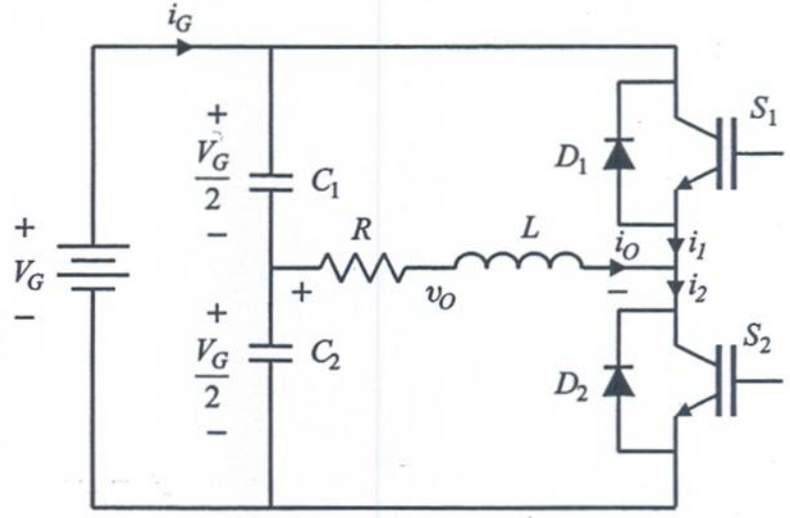


FIGURA 7.2.1 Inversor monofásico en medio puente que alimenta a una carga *RL*.

Se pide:

1) Dibujar, cualitativamente, la tensión y la corriente en la carga, i_O.
2) ¿Cuánto vale V_G si el valor eficaz de la componente fundamental de la tensión en la carga es 220 V?
3) Calcular, aproximadamente, la potencia media que se consume en la carga.
4) Calcular, aproximadamente, la corriente media de las baterías, I_{Gm}.
5) ¿Cuánto valen las corrientes máximas por los semiconductores?

Solución. Problema 7.2

Apartado 1)

En la Figura 7.2.2 se representan las formas de onda de la tensión de salida del inversor, v_O, y de la corriente en la carga, i_O.

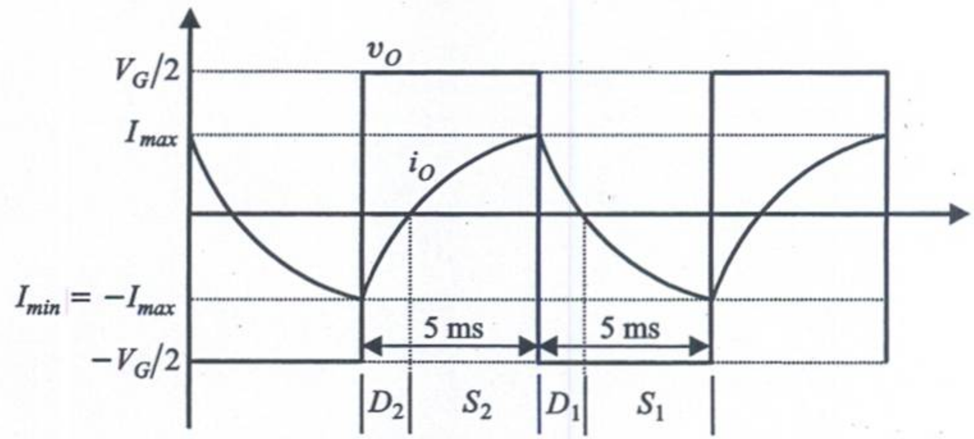


FIGURA 7.2.2 Formas de onda de la tensión de salida del inversor, v_O, y de la corriente en la carga, i_O.

El inversor aplica a la carga una forma de onda cuadrada, con ciclo de trabajo 0,5 y cuyos valores máximos coinciden con la tensión en los condensadores C_1 y C_2. Cuando la carga RL recibe tensión continua positiva, su corriente crece de forma exponencial, con una constante de tiempo $\tau = L/R$, desde el valor I_{min} hasta el valor I_{max}.

Durante el intervalo en que tanto v_O como i_O son positivas, conduce el IGBT S_2. A partir del instante en que se apaga S_2, y puesto que la corriente i_O no puede variar bruscamente de valor, la conducción se establece a través de D_1, pasando a conducir S_1 cuando v_O e i_O se hacen negativas.

Solución. Problema 7.2

Apartado 2)

La tensión v_O puede describirse matemáticamente mediante la serie de Fourier que se recoge en (7.2.1):

$$v_O(t) = \frac{4}{\pi}\frac{V_G}{2}\sum_{n=1,3,5,\ldots}\frac{1}{n}\,\mathrm{sen}\,(n\omega t) \tag{7.2.1}$$

Por lo tanto, el valor eficaz del armónico enésimo viene dado por (7.2.2):

$$V_{Onef} = \frac{2V_G}{\pi\sqrt{2}}\frac{1}{n} \tag{7.2.2}$$

A partir de (7.2.2) se puede deducir el valor de V_G necesario para que el armónico fundamental tenga un valor eficaz de 220 V.

$$V_G = 220\ \mathrm{V}\,\frac{\pi\sqrt{2}}{2} = 488{,}72\ \mathrm{V} \tag{7.2.3}$$

Solución. Problema 7.2

Apartado 3)

La potencia consumida en la carga viene dada por (7.2.4):

$$P = I_{Oef}^2 \cdot R \tag{7.2.4}$$

El valor eficaz de la corriente por la carga, puede calcularse aplicando el principio de superposición, ya que la carga *RL* es lineal. El valor eficaz de cada armónico de corriente puede obtenerse como el cociente entre el valor eficaz de cada armónico de la tensión v_O entre la impedancia qué, a esa frecuencia presenta la carga *RL*. Este proceso se recoge en (7.2.5):

$$I_{Oef}^2 = \sum_{n=1,3,5,\ldots} I_{On}^2$$

$$I_{On} = \frac{V_{On}}{Z_n}$$

$$V_{On} = \frac{2 \cdot V_G}{n\pi\sqrt{2}}$$

$$Z_n = \sqrt{R^2 + (n\omega_1 L)^2} \tag{7.2.5}$$

Sustituyendo los valores del enunciado se obtiene:

$$V_{O1} = 220 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad I_{O1} = \frac{220 \text{ V}}{\sqrt{20\ \Omega^2 + (200 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^{-3}\ \Omega)^2}} = 5{,}9073 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad I_{O1}^2 = 34{,}8965 \text{ A}^2$$

$$V_{O3} = \frac{220 \text{ V}}{3} = 73{,}333 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad I_{O3} \frac{73{,}333 \text{ V}}{\sqrt{20\ \Omega^2 + (200 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^{-3}\ \Omega)^2}} = 0{,}7611 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad I_{O3}^2 = 0{,}5793 \text{ A}^2 \tag{7.2.6}$$

Comparando los valores eficaces del primer y tercer armónico, se deduce que la serie de Fourier puede ser truncada de manera que se considere únicamente el primer armónico. Por tanto, la potencia puede calcularse de forma aproximada por:

$$I_{Oef}^2 \approx I_{O1}^2 = 34{,}8865 \text{ A}$$

$$P = 34{,}8865 \cdot 20 = 697{,}9291 \text{ W} \tag{7.2.7}$$

Si se considera también el tercer armóncio:

$$P = ((6{,}01 \text{ A})^2 + (0{,}7611 \text{ A})^2) \times 20\ \Omega = 734 \text{ W}$$

lo que supone un error de un 4,9%.

Solución. Problema 7.2

Apartado 4)

La potencia media que consume la carga, P_O, la suministran las baterías, P_G, ya que los condensadores no consumen potencia media. Esto se recoge en (7.2.8):

$$\begin{aligned} P_G &= P_O \\ P_G &= V_G \cdot I_{Gm} \end{aligned} \tag{7.2.8}$$

por tanto, el valor de la corriente media que ceden las baterías, I_{Gm}, viene dado por (7.2.9):

$$I_{Gm} = \frac{P}{V_G} = \frac{697{,}9291 \text{ W}}{488{,}7171 \text{ V}} = 1{,}4281 \text{ A} \tag{7.2.9}$$

Solución. Problema 7.2

Apartado 5)

Según la Figura 7.2.2, las corrientes máximas en los diodos y los transistores son: $I_{S\,max} = I_{max}$ e $I_{D\,max} = I_{max}$; de manera que el cálculo de las corrientes máximas en los semiconductores se reduce al cálculo de la corriente en la carga para $t = T/2$.

En cada semiperiodo, la corriente en la carga es una exponencial de valor inicial I_{min} (I_{max}) y valor final $V_G/2R\,(-V_G/2R)$. Por tanto,

$$i_O = \begin{cases} \dfrac{V_G}{2R} + \left(I_{min} - \dfrac{V_G}{2R}\right)e^{-t/\tau} & \text{para } 0 \leqslant t \leqslant \dfrac{T}{2} \\ -\dfrac{V_G}{2R} + \left(I_{max} + \dfrac{V_G}{2R}\right)e^{-(t-T/2)/\tau} & \text{para } \dfrac{T}{2} \leqslant t \leqslant T \end{cases} \quad \left(\tau = \frac{L}{R} = 2{,}5 \text{ ms}\right) \qquad (7.2.10)$$

Teniendo en cuenta que $I_{max} = -I_{min}$, y considerando las expresiones de i_O recogidas en (7.2.10) para cada semiciclo e igualándolas para el instante $t = T/2$, se obtiene el valor de I_{max}:

$$I_{max} = -I_{min} = \frac{V_G}{2R}\left(\frac{1 - e^{-T/2\tau}}{1 + e^{-T/2\tau}}\right) = \frac{488{,}7171 \text{ V}}{2 \cdot 20\ \Omega}\left(\frac{1 - e^{-5/(2\cdot 5)}}{1 + e^{-5/(2\cdot 5)}}\right) = 9{,}305 \text{ A}$$

$$I_{S\,max} = I_{D\,max} = 9{,}305 \text{ A} \qquad (7.2.11)$$

Enunciado. Problema 7.6

En el circuito de la Figura 7.6.1 se pretende conseguir una tensión, v_O, cuadrada de valor máximo 200 V. Esta tensión se aplicará sobre una carga *RLC* de 2 kW y $\cos\varphi = 0{,}8$ inductivo. Se puede suponer que la corriente i_O es sinusoidal pura, debido al efecto de filtrado que presenta la carga *RLC*.

Datos: IGBT: $V_{CE(sat)} = 0{,}3$ V, tensión colector emisor en saturación.

Diodos: $V_D = 0{,}3$ V, caída de tensión directa.

Se pide:

1) Valor de la tensión en la batería, V_G.
2) Dibujar las siguientes formas de onda:
   - Tensiones de control (nivel alto-nivel bajo) de los cuatro IGBT: S_1, S_2, S_3, S_4.
   - Tensiones v_A, v_B y v_O.
   - Tensiones en los semiconductores, v_S.
   - Corriente de salida, i_O.
   - Corriente por los semiconductores i_S, i_D.
   - Corriente que cede la bateria, i_G.
3) Dimensionar los semiconductores de la etapa de potencia. Para ello calcular:
   - Tensión máxima que deben bloquear, V_{max}.
   - Corriente media máxima que deben soportar.
   - Corriente de pico máxima que deben soportar.
4) Considerando todos los componentes ideales, calcular el valor medio de la corriente que cede la batería.
5) Si consideramos que el filtro es ideal, pero no así los semiconductores, y suponiendo que en éstos sólo existen pérdidas en conducción, calcular:
   - Pérdidas en conducción en cada IGBT.
   - Pérdidas en conducción en cada diodo.
   - Rendimiento del inversor.
   - Corriente media que cede la batería en estas condiciones.

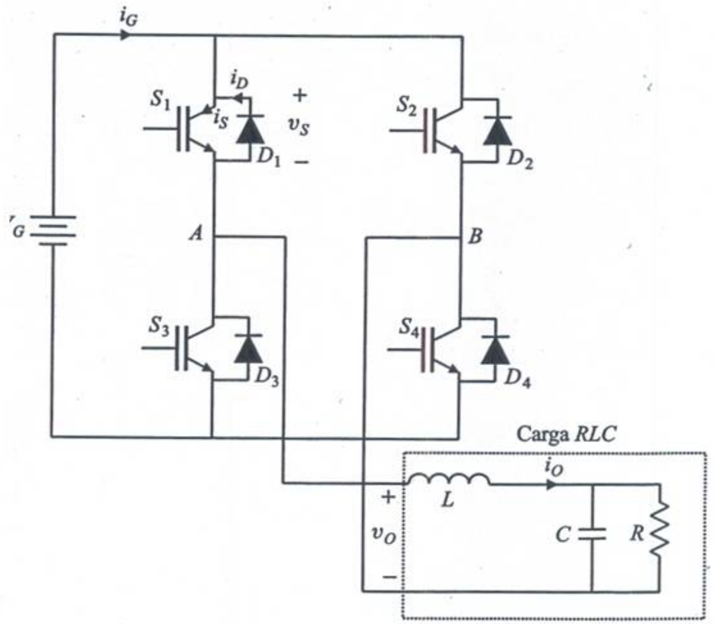


FIGURA 7.6.1 Inversor monofásico en puente que alimenta a una carga *RLC*.

Solución. Problema 7.6

Apartado 1)

En este tipo de inversor, si se desprecian las caídas de tensión en los semiconductores, la tensión máxima aplicada a la carga coincide con la tensión continua que alimenta al puente. Por tanto:

$$V_G = 200 \text{ V}$$

Apartado 2)

Para generar, con un inversor monofásico en puente completo, una onda cuadrada que se aplique a la carga, es necesario disparar en cruz los IGBT. Por tanto, las señales de disparo S_1 y S_4 coinciden y las señales S_2 y S_3 son las complementarias de las anteriores (en el caso real deben incluirse tiempos muertos entre ellas).
En cualquier estructura en puente, con ramas formadas por dos interruptores situados uno encima del otro, de forma que el superior se conecta a la alimentación y el inferior a masa, la tensión del punto intermedio de cada rama coincide en forma de onda con la tensión de disparo del interruptor que ocupa la posición superior. Por tanto, en este caso, la tensión v_A coincide (salvo por la escala) con la señal S_1 y la tensión v_B con la señal S_2.
Cuando se aplica una tensión cuadrada a una carga, si ésta presenta una inductancia en serie, reducirá el valor de los armónicos de corriente que circulen por ella. En el caso que plantea el enunciado, el carácter inductivo de la carga es muy fuerte, y puede considerarse que la carga absorbe una corriente totalmente sinusoidal, que irá desfasada un ángulo φ respecto del primer armónico de la tensión:

$$\cos(\varphi) = 0{,}8 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 36{,}87°$$

El desfase de la corriente provoca la conducción de los diodos. Considerando el convenio de signos para la tensión y corriente de salida, v_O e i_O, que se muestra en la Figura 7.6.1, se cumple:

$v_O > 0$ e $i_O > 0 \Rightarrow$ conducen S_1 y S_4, (semiconductores que pueden aplicar tensión positiva a la carga y que permiten circular corriente en sentido positivo hacia la carga)

$v_O < 0$ e $i_O > 0 \Rightarrow$ conducen D_2 y D_3

$v_O < 0$ e $i_O < 0 \Rightarrow$ conducen S_2 y S_3

$v_O < 0$ e $i_O > 0 \Rightarrow$ conducen D_1 y D_4

Por último, es importante destacar que la conducción de los IGBT siempre lleva asociada una corriente positiva cedida por la fuente de continua, mientras que la conducción de los diodos conlleva que la fuente absorbe corriente. Si la corriente media que cede la fuente es positiva ($I_{Gm} > 0$), la potencia que ésta cede será también positiva, y, por tanto, el convertidor funciona como inversor. Si, por el contrario, la corriente media de la fuente fuera negativa, el convertidor funcionaría como rectificador.

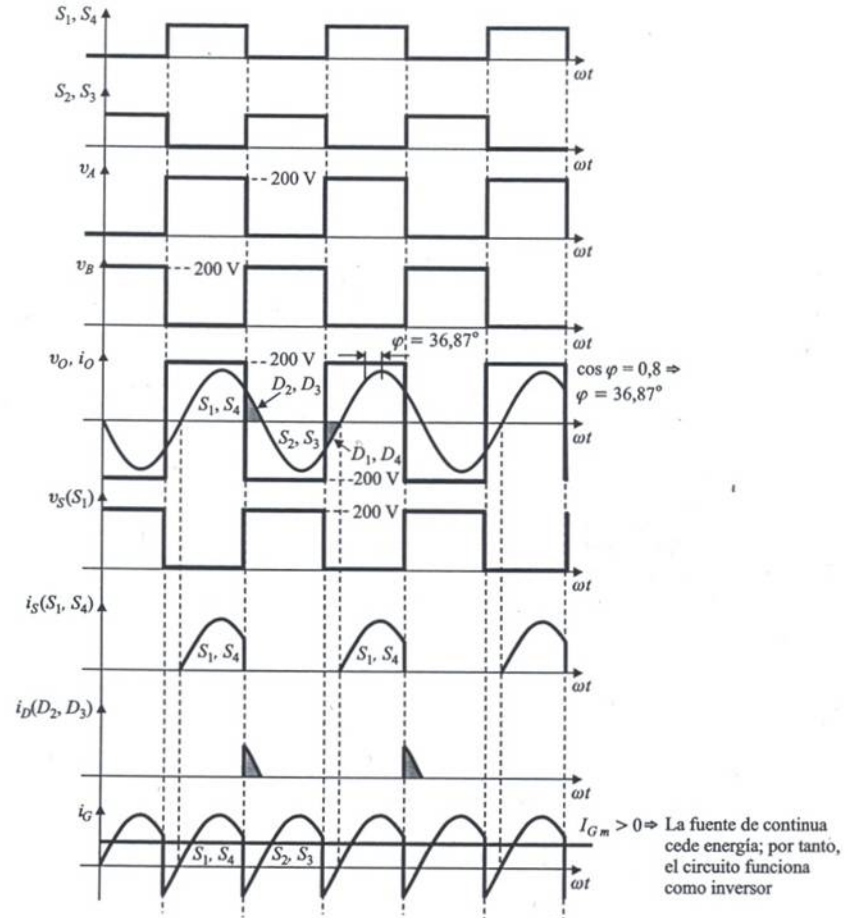


FIGURA 7.6.2 Tensión de control de los IGBT, S_1, S_2, S_3, S_4. Forma de onda de las tensiones en los puntos intermedios de cada rama, v_A, v_B. Formas de onda de la tensión y corriente en la carga, v_O e i_O respectivamente, se ha marcado en gris sobre la corriente i_O la parte que circula a través de los diodos. Forma de onda de la tensión que bloquea el IGBT S_1, v_S. Forma de onda de la corriente que circula a través de los IGBT S_1 y S_4, i_S. Forma de onda de la corriente que circula a través de los diodos D_2 y D_3, i_D. Forma de onda de la corriente que cede la fuente de continua, i_G.

Solución. Problema 7.6

Apartado 3)

En primer lugar se calculará el valor máximo de la corriente de carga. Considerando que la corriente es sinusoidal pura, la potencia cedida a la carga viene dada por:

$$P = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 \tag{7.6.1}$$

donde:

V_1 valor eficaz del primer armónico de la tensión v_O.
I_1 valor eficaz del primer armónico de la corriente i_O.
φ_1 desfase entre el primer armónico de corriente respecto del primer armónico de tensión. En el caso del enunciado se cumple: $\varphi_1 = \varphi$.

En una onda cuadrada, la relación entre el valor eficaz del primer armónico y su valor máximo viene dada por:

$$V_1 = \frac{V_{max} \cdot 4}{\sqrt{2} \cdot \pi} = 180 \text{ V} \tag{7.6.2}$$

Por tanto, el valor de pico de la corriente por la carga I_{Op} se puede calcular a partir de (7.6.1) y (7.6.2):

$$I_{Op} = \sqrt{2} \cdot \frac{P}{\dfrac{V_{max} \cdot 4}{\sqrt{2} \cdot 4} \cdot \cos\varphi} = \frac{\sqrt{2} \cdot 2 \text{ kW}}{\dfrac{200 \text{ V} \cdot 4}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cdot 0{,}8} = 19{,}64 \text{ A}$$

Una vez conocido el valor de pico de la corriente por la carga, I_{Op}, se pueden calcular los valores máximos de corriente que han de soportar los IGBT y diodos (véase la Figura 7.6.3).
Tensión máxima que deben bloquear ambos semiconductores:

$$V_{max} = 200 \text{ V}$$

Corrientes de pico máximas que han de soportar los semiconductores:

IGBT: $I_{S\,max} \geqslant I_{1p} = 19{,}64$ A
DIODOS: $I_{D\,max} \geqslant I_{1p} \cdot \text{sen}(180 - 30{,}87) = I_{1p} \cdot 0{,}6 = 11{,}78$ A

Corrientes medias máximas:

IGBT: $$I_{Sm} = \frac{1}{T}\int_0^T i_S(t)\,dt = \frac{I_{1p}}{2\pi}\int_0^{\pi-\varphi} \text{sen}(\alpha)\,d\alpha = \frac{I_{1p}}{2\pi}(1 + \cos\varphi)$$

$$I_{Sm} = \frac{I_{1p}}{2\pi}(1 + \cos\varphi) \quad \Rightarrow \quad I_{Sm} = \frac{19{,}64 \text{ A}}{2\pi}(1 + 0{,}8) = 6{,}62 \text{ A}$$

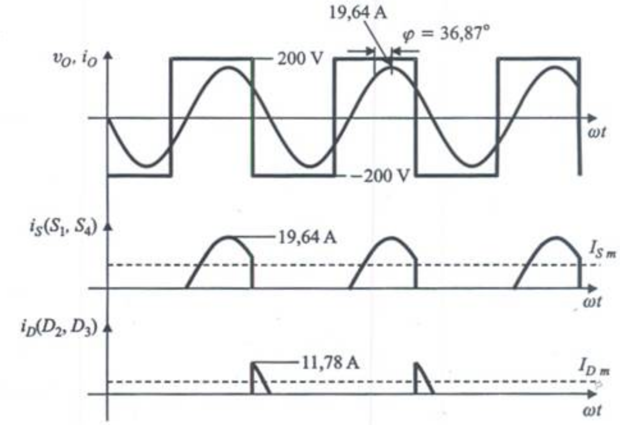


FIGURA 7.6.3 Formas de onda de corriente por los IGBT y diodos así como sus valores máximos.

DIODOS: $$I_{Dm} = \frac{1}{T}\int_0^T i_D(t)\,dt = \frac{I_{1p}}{2\pi}\int_{\pi-\varphi}^{\pi} \text{sen}(\alpha)\,d\alpha = \frac{I_{1p}}{2\pi}(1 - \cos\varphi)$$

$$I_{Dm} = \frac{I_{1p}}{2\pi}(1 - \cos\varphi) \quad \Rightarrow \quad I_{Dm} = \frac{19{,}64 \text{ A}}{2\pi}(1 - 0{,}8) = 0{,}625 \text{ A}$$

Por tanto, se deben seleccionar unos semiconductores con unas características superiores a los valores máximos calculados:

- Tensión máxima: $V_{max} = 200$ V
- Corriente media: IGBT: 5,62 A
  DIODOS: 0,625 A
- Corriente de pico repetitivo: IGBT: 19,64 A
  DIODOS: 11,78 A

CEI UPM

POLITÉCNICA

Solución. Problema 7.6

Apartado 4)

Potencia que cede la fuente:

$$P_G = V_G \cdot I_{Gm} \tag{7.6.3}$$

Potencia de salida:

$$P_O = 2 \text{ kW}$$

Como todos los componentes son ideales, realizando un balance de potencia entrada-salida, se tiene:

$$P_G = P_O \tag{7.6.4}$$

De las Ecuaciones (7.6.3) y (7.6.4) se deduce:

$$I_{Gm} = \frac{P_O}{V_G} = \frac{2000 \text{ W}}{200 \text{ V}} = 10 \text{ A}$$

Apartado 5)

Pérdidas en conducción en un IGBT:

$$P_{IGBT} = I_{Sm} \cdot V_{CE(sat)} = 5{,}62 \text{ A} \cdot 1{,}2 \text{ V} = 6{,}74 \text{ W}$$

Pérdidas en conducción en un diodo:

$$P_{DIODO} = I_{Dm} \cdot V_D = 0{,}625 \text{ A} \cdot 1{,}1 \text{ V} = 0{,}687 \text{ W}$$

Pérdidas totales en conducción:

$$P_T = 4 \cdot P_{IGBT} + 4 \cdot P_{DIODO} = 4 \cdot 6{,}74 \text{ W} + 4 \cdot 0{,}687 \text{ W} = 30 \text{ W}$$

Rendimiento:

$$\eta = \frac{P_O}{P_O + P_T} = \frac{2000}{2030} \cdot 100 = 98{,}5\%$$

El rendimiento obtenido resulta muy elevado, ya que sólo se han considerado pérdidas en conducción y no en conmutación. Cuando se utilizan IGBT como interruptores de potencia, las pérdidas en conmutación resultan mayoritarias si la frecuencia de conmutación supera el rango de los kHz.
Considerando las pérdidas en conducción, el nuevo valor de la corriente que cede la fuente de continua viene dado por:

$$P_G = P_O + P_T = V_G \cdot I_{Gm} \quad \Rightarrow \quad I_{Gm} = \frac{P_O + P_T}{V_G} = \frac{2030 \text{ W}}{200 \text{ V}} = 10{,}15 \text{ A}$$

Valor que lógicamente resulta superior al que tiene que proporcionar la fuente si se consideran ideales los semiconductores.

Problema 7.13

PROBLEMA 3. (3 puntos)

El inversor de la figura 1 está formado por cuatro IGBT y cuatro diodos. Los IGBT son controlados por las señales indicadas en la figura 2. Teniendo en cuenta que la carga está formada por una resistencia y un condensador, se pide:

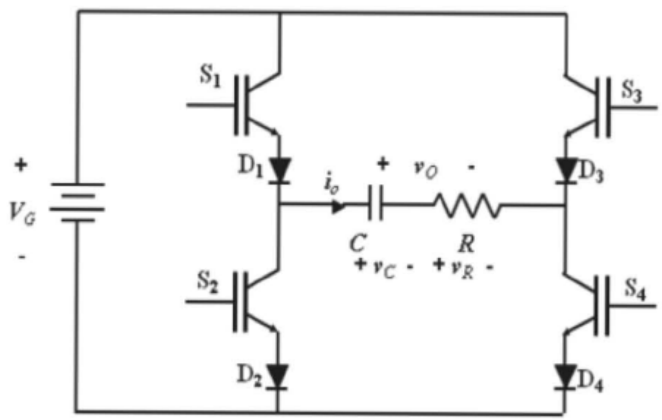
a) Indicar el nombre de la topología de potencia y del método de control.

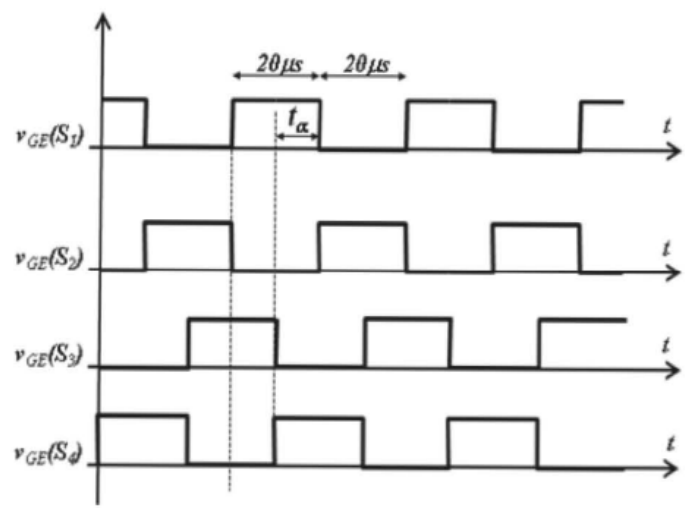
b) Forma de onda acotada de la tensión v_o y la corriente i_o, para un α=120º, en régimen permanente.

c) Períodos de conducción de cada semiconductor.

Datos: V_G=311 R=10Ω C=4,7μF

Considerar los semiconductores ideales.



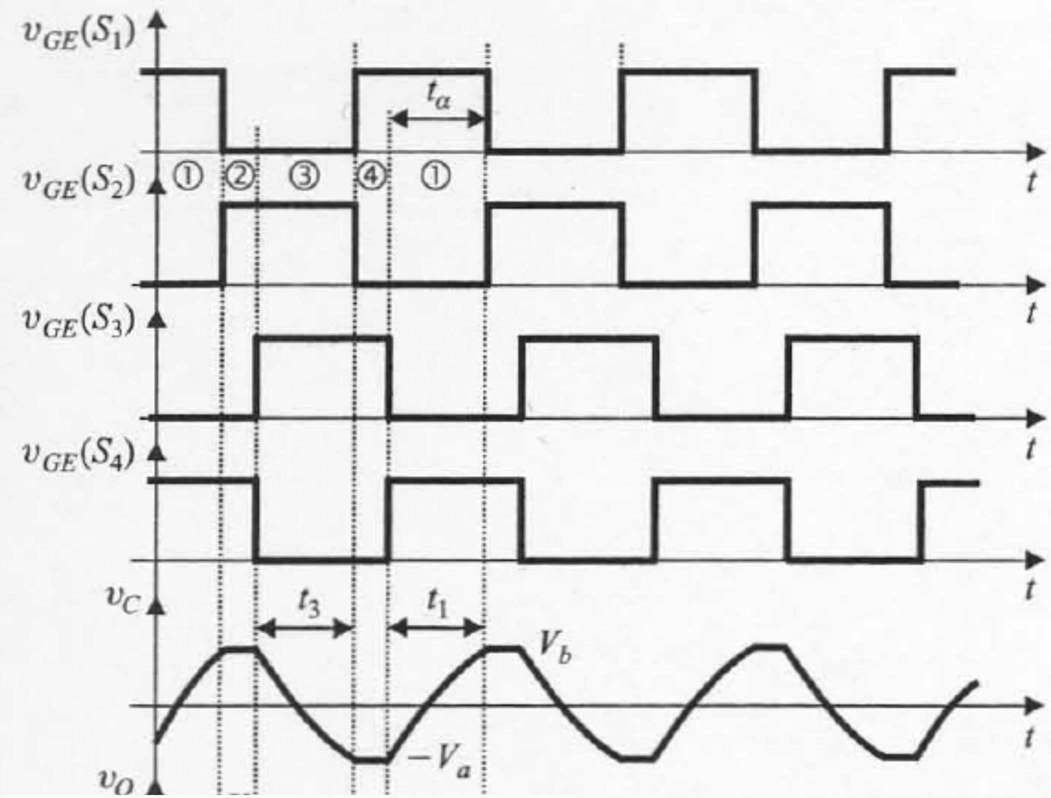


Problema 7.13

SOLUCIÓN

Apartado 1)

Inversor monofásico en puente completo, en fuen
fase desplazada).



Apartado 4)

A la vista de la corriente i_O mostrada en la Figura 7.13.3, se observa que solamente hay corriente por la ca
ga y la fuente de entrada en los intervalos ① y ③. Por tanto, para este caso particular:

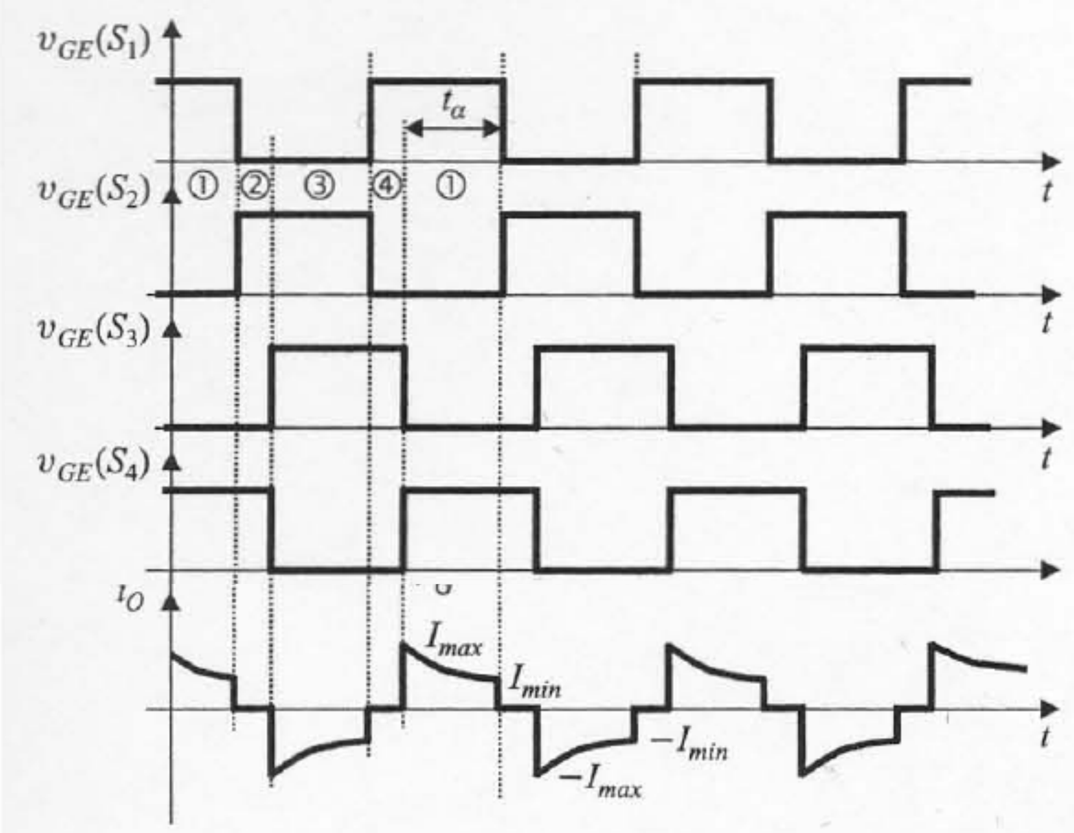
- S_1, S_4, D_1 y D_4 conducen cuando $V_{GE}(S_1)$ y $V_{GE}(S_4)$ están a nivel alto al mismo tiempo, es decir duran el intervalo ①.
- S_2, S_3, D_2 y D_3 conducen cuando $V_{GE}(S_2)$ y $V_{GE}(S_3)$ están a nivel alto al mismo tiempo, es decir duran el intervalo ③.

Problema 7.13

Apartado 4)

A la vista de la corriente i_O mostrada en la Figura 7.13.3, se observa que solamente hay corriente por la carga y la fuente de entrada en los intervalos ① y ③. Por tanto, para este caso particular:

- S_1, S_4, D_1 y D_4 conducen cuando $V_{GE}(S_1)$ y $V_{GE}(S_4)$ están a nivel alto al mismo tiempo, es decir durante el intervalo ①.
- S_2, S_3, D_2 y D_3 conducen cuando $V_{GE}(S_2)$ y $V_{GE}(S_3)$ están a nivel alto al mismo tiempo, es decir durante el intervalo ③.



Problema 7.19

PROBLEMA 7.19 El inversor de la Figura 7.19.1 emplea la técnica PWM bipolar para generar una tensión alterna cuyo armónico fundamental es de 100 Hz y se aplica a una carga inductiva. El índice de modulación de frecuencia es $m_f = 200$ y el índice de modulación de amplifud $m_a = 0,5$.
Suponiendo que los semiconductores del circuito son ideales:

1) Dibujar la forma de onda de la tensión de salida e indicar cómo se disparan los IGBT del circuito.
2) Calcular y dibujar el primer armónico de la corriente por la carga, indicando por qué semiconductores circula.

$V_G = 400$ V; $R = 20\ \Omega$; $L = 0,1$ H

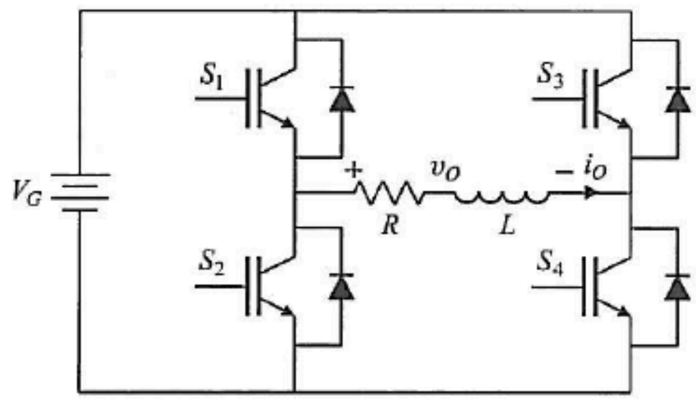


FIGURA 7.19.1 Inversor monofásico en puente completo que alimenta a una carga *RL*.

Problema 7.19

SOLUCIÓN

Apartado 1)

De forma aproximada, la tensión de salida, v_O, es la indicada:

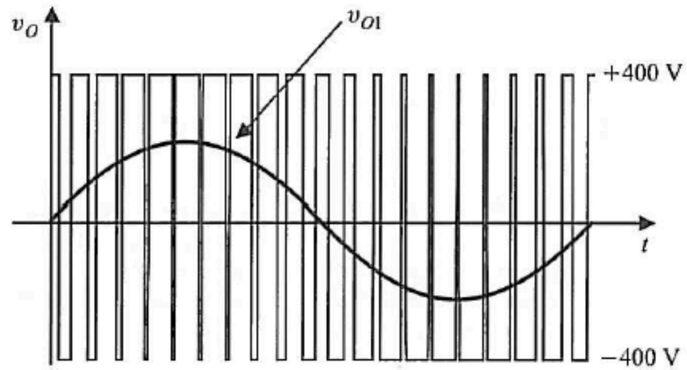


FIGURA 7.19.2 Tensión de salida del inversor, v_O, primer armónico de la tensión de salida, v_{O1}.

La amplitud del primer armónico de la tensión de salida se puede calcular a partir de m_a, de forma que:

$$V_{O1p} = V_G \cdot m_a = 400 \text{ V} \cdot 0{,}5 = 200 \text{ V}$$

Problema 7.19

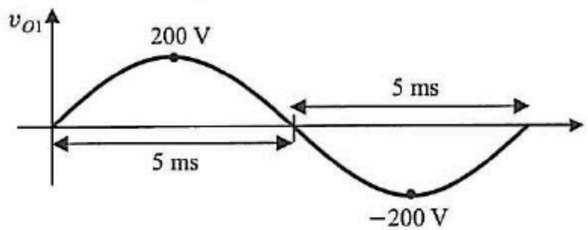


FIGURA 7.19.3 Primer armónico de la tensión de salida, v_{O1}.

Los IGBT se disparan por parejas, de modo que el disparo de los transistores S_1 y S_4 produce una v_O positiva (en valor instantáneo), mientras que S_2 y S_3 producen v_O negativa. La secuencia de disparo de estas dos parejas se obtiene en el circuito de control a partir de la comparación de una referencia sinusoidal de 100 Hz de frecuencia y una señal triangular de frecuencia m_f veces la frecuencia de la sinusoidal (en este caso de 20 kHz). La evolución de los disparos es tal que el valor medio de V_O va describiendo la sinusoide anteriormente dibujada.

Apartado 2)

La impedancia de la carga a 100 Hz es:

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = \sqrt{20^2 + (2\pi \cdot 100)^2 \cdot 0{,}1^2} \approx 66\ \Omega$$

por tanto, el valor de pico del primer armónico de la corriente será:

$$I_{O1p} = \frac{V_{O1p}}{Z} = \frac{200\ \text{V}}{66\ \Omega} = 3\ \text{A}$$

y el desfase:

$$\varphi = \text{arctg}\,\frac{\omega L}{R} = \text{arctg}\,\frac{2\pi \cdot 100 \cdot 0{,}1}{20} = 72^\circ$$

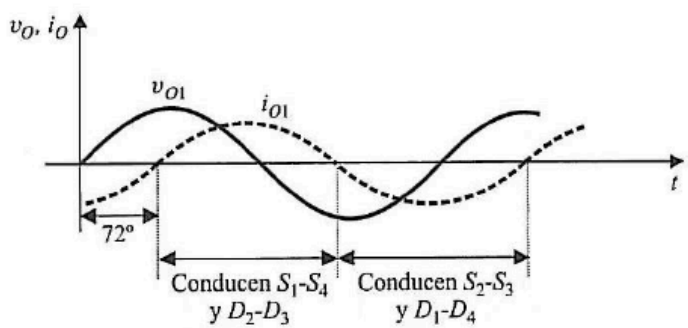


FIGURA 7.19.4 Primer armónico de la tensión de salida, v_{O1}, y primer armónico de la corriente por la carga, i_{O1}.

Problema 7.20

PROBLEMA 7.20 Se quiere diseñar un amplificador de audio clase D (inversor monofásico con conmutación bipolar, véase la Figura 7.20.1). La carga de dicho amplificador son bafles cuyas impedancias, en el rango de frecuencia a amplificar, se pueden considerar resistivas de 4-8 Ω.

Dicho amplificador ha de ser capaz de reproducir señales en el rango de frecuencias de 20 Hz-20 kHz. La frecuencia de conmutación se ha elegido de 300 kHz, llegando a un compromiso entre su influencia en la calidad de la señal de salida y las pérdidas en los MOSFET. Se pide:

1) Diseñar el filtro *LC* de salida de forma que los armónicos de la frecuencia de conmutación de salida tengan una atenucación de 40 dB y que el factor de calidad máximo del filtro cargado con el bafle sea de $1/\sqrt{2}$.
2) Si la tensión de alimentación del inversor es de 15 V, deteminar cuál es la máxima potencia que puede dar el filtro sin distorsionar (supóngase señal audio sinusoidal de 1 kHz).

3) Si la referencia de la señal de audio es de $v_{ref}(t) = 1{,}2 \cdot \text{sen}(2\pi \cdot 1\ \text{kHz} \cdot t)$, determinar:
   3.1) Forma de onda de tensión a la salida.
   3.2) Potencia de salida.
   3.3) Distorsión armónica total.

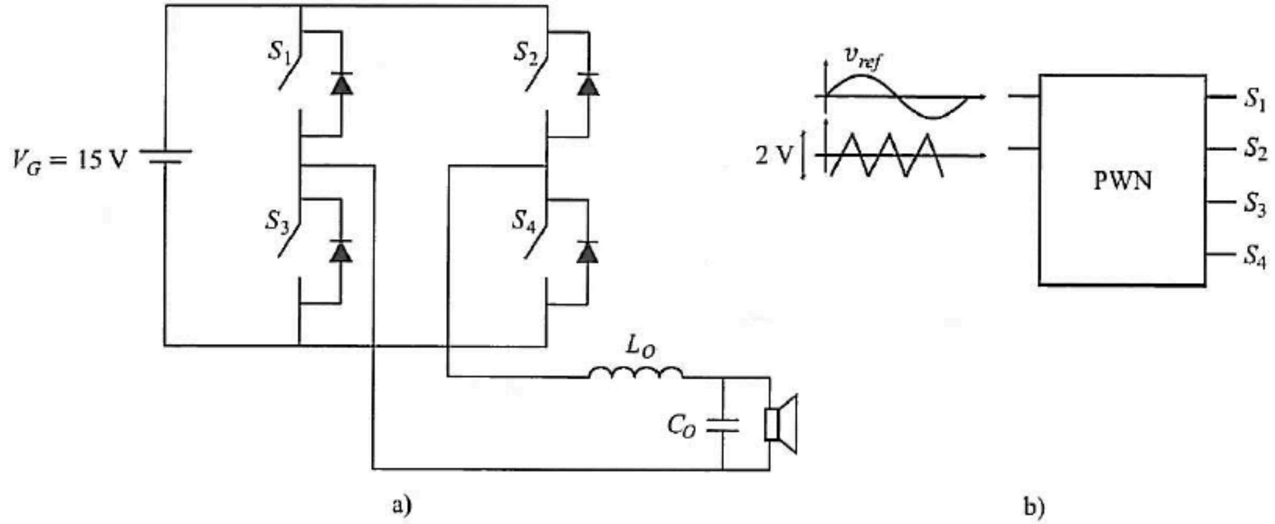


FIGURA 7.20.1 a) Amplificador de audio clase D (inversor monofásico con conmutación bipolar), que alimenta un bafle a través de un filtro *LC*. b) Circuito de control del amplificador.

Problema 7.20

PROBLEMA 7.20 Se quiere diseñar un amplificador de audio clase D (inversor monofásico con conmutación bipolar, véase la Figura 7.20.1). La carga de dicho amplificador son bafles cuyas impedancias, en el rango de frecuencia a amplificar, se pueden considerar resistivas de 4-8 Ω.
Dicho amplificador ha de ser capaz de reproducir señales en el rango de frecuencias de 20 Hz-20 kHz. La frecuencia de conmutación se ha elegido de 300 kHz, llegando a un compromiso entre su influencia en la calidad de la señal de salida y las pérdidas en los MOSFET. Se pide:

1) Diseñar el filtro *LC* de salida de forma que los armónicos de la frecuencia de conmutación de salida tengan una atenucación de 40 dB y que el factor de calidad máximo del filtro cargado con el bafle sea de $1/\sqrt{2}$.
2) Si la tensión de alimentación del inversor es de 15 V, deteminar cuál es la máxima potencia que puede dar el filtro sin distorsionar (supóngase señal audio sinusoidal de 1 kHz).
3) Si la referencia de la señal de audio es de $v_{ref}(t) = 1{,}2 \cdot \text{sen}\,(2\pi \cdot 1\ \text{kHz} \cdot t)$, determinar:
   3.1) Forma de onda de tensión a la salida.
   3.2) Potencia de salida.
   3.3) Distorsión armónica total.

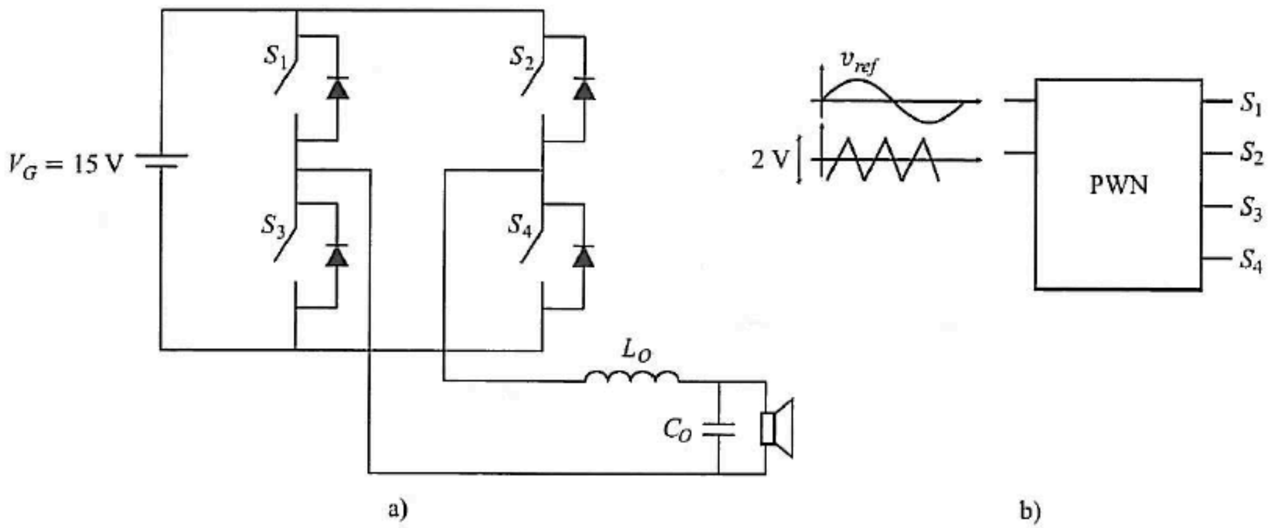
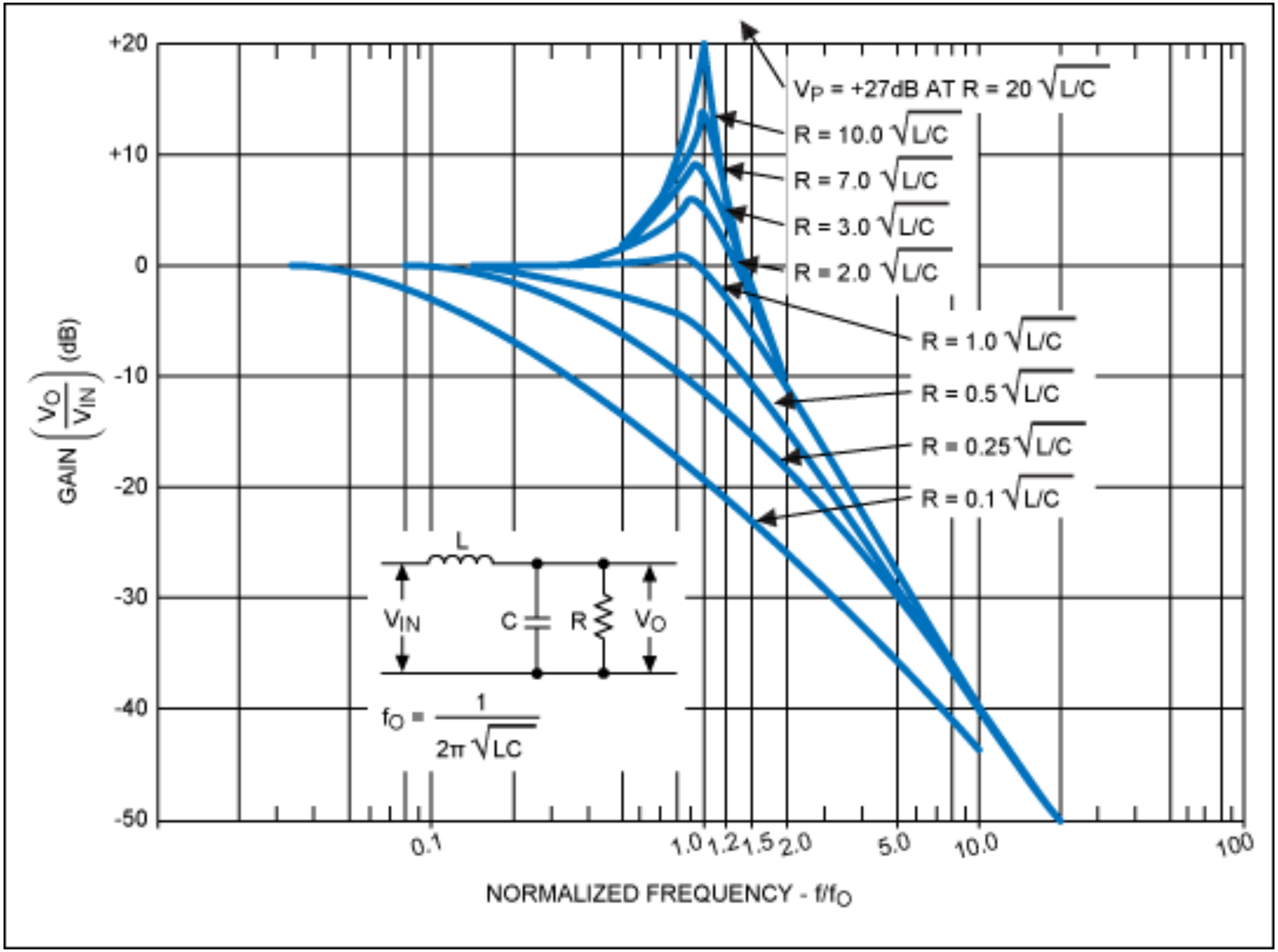


FIGURA 7.20.1 a) Amplificador de audio clase D (inversor monofásico con conmutación bipolar), que alimenta un bafle a través de un filtro *LC*. b) Circuito de control del amplificador.

Problema 7.20



$$Q = \frac{R}{Z_o}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_o}{C_o}}.$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_o C_o}}$$

Problema 7.20

SOLUCIÓN

Apartado 1)

Factor de calidad:

$$Q = \frac{R}{Z_o} \quad , \quad Q_{max} = \frac{R_{max}}{Z_o} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad , \quad Z_o = \sqrt{2}R_{max} = 11{,}3\ \Omega$$

siendo $Z_o = \sqrt{\dfrac{L_o}{C_o}}$.

Para atenuar 40 dB a 300 kHz, la frecuencia de resonancia del filtro tiene que ser 30 kHz ya que el filtro cae con pendiente 40 dB/dec:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_o C_o}} = 2\pi \cdot 30\ \text{kHz}$$

$$L_o = \frac{Z_o}{\omega_o} = 60\ \mu\text{H} \quad ; \quad C_o = \frac{1}{\omega_o \cdot Z_o} = 468\ \text{nF}$$

Apartado 2)

La máxima potencia de salida sin distorsionar se obtiene para modulación en amplitud igual a unidad: $v_{ref} = V_{tri} \cdot \text{sen}\,(\omega t)$:

$$v_O(t) = V_G \frac{v_{ref}}{V_{tri}}(t) = V_G \cdot \text{sen}\,(\omega t)$$

La potencia de salida será $P = \dfrac{\left(\dfrac{V_G}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}$ y la potencia máxima $P_{max} = \dfrac{\left(\dfrac{V_G}{\sqrt{2}}\right)^2}{R_{min}} = 28{,}125$ W.

Problema 7.20

Apartado 3)

Si $v_{ref} = 1{,}2 \cdot \mathrm{sen}\,(2\pi \cdot 1\ \mathrm{kHz} \cdot t)$

$$v_O(t) \begin{cases} V_G \dfrac{v_{ref}}{V_{tri}}(t) & \text{para } v_{ref}(t) \leqslant V_{tri} \\ V_G & \text{para } v_{ref}(t) \geqslant V_{tri} \text{ se produce sobremodulación} \end{cases}$$

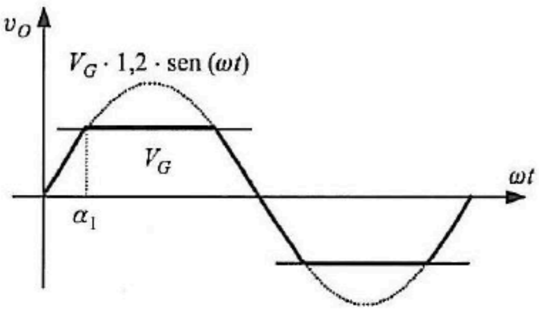


FIGURA 7.20.2 Tensión de salida cuando se produce sobremodulación $v_{ref}(t) \leqslant V_{tri}$.

El ángulo a partir del cual se distorsiona la tensión de salida puede calcularse como sigue:

$$\alpha_1 = \mathrm{arcsen}\left(\frac{1}{1{,}2}\right)$$

El valor eficaz de la tensión de salida para estas condiciones viene dado por:

$$V_{O\,ef}^2 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_O^2(\omega t)\,d\omega t = \frac{1}{2\pi}\,V_G^2 \cdot 4\left[\int_0^{\alpha_1} V_{ref}^2 \mathrm{sen}^2(\omega t)\,d\omega t + \int_{\alpha_1}^{\pi/2} d\omega t\right] = 0{,}613\,V_G^2$$

El valor del primer armónico de tensión será:

$$V_{O\,1} = \frac{2}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_O(\omega t)\cdot \mathrm{sen}\,\omega t \cdot d\omega t = \frac{1}{4}\,V_G \cdot 4\left[\int_0^{\alpha_1} V_{ref}\mathrm{sen}^2\,\omega t\,d\omega t + \int_{\alpha_1}^{\pi/2} \mathrm{sen}\,\omega t\,d\omega t\right] = 1{,}1 \cdot V_G$$

$$= V_{O\,1\,ef} = 0{,}777 V_G$$

$$DAT = \frac{\sqrt{V_{O\,ef}^2 - V_{O\,1\,ef}^2}}{V_{O\,1\,ef}} = \sqrt{\left(\frac{V_{O\,ef}}{V_{O\,1\,ef}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\frac{0{,}613}{0{,}605} - 1} = 7{,}38\%$$

CEI UPM

POLITÉCNICA

CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

Reguladores de CA

Monofásicos

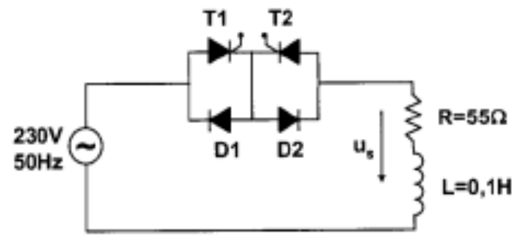
cei@upm.es

Universidad Politécnica de Madrid

POLITÉCNICA

Problema

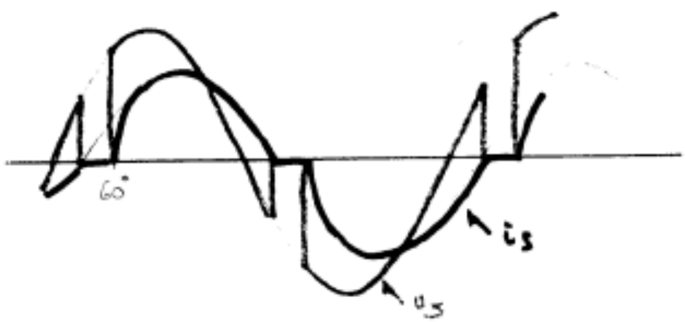
CUESTIÓN 2. *(2 puntos)*



Los tiristores del regulador de la figura se disparan con un ángulo de retraso de 60º respecto al paso por cero de la tensión de red. Se pide:

a) Dibujar la forma de onda de tensión y corriente en la carga.
b) Indicar la máxima tensión inversa y directa soportada por los tiristores.

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R} = 29'7^\circ \simeq 30^\circ$$



$$u_{T,DIR,MAX} = E_p \cdot \operatorname{sen} 60^\circ = 281\ V.$$

$u_{T,INV,MAX} = 0$ ya que tiene un diodo en antiparalelo

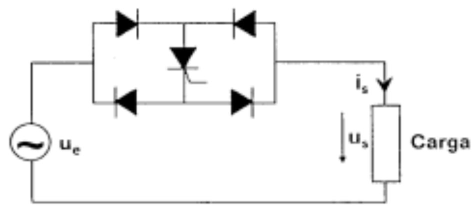
Problema

PROBLEMA 3. (2 puntos)

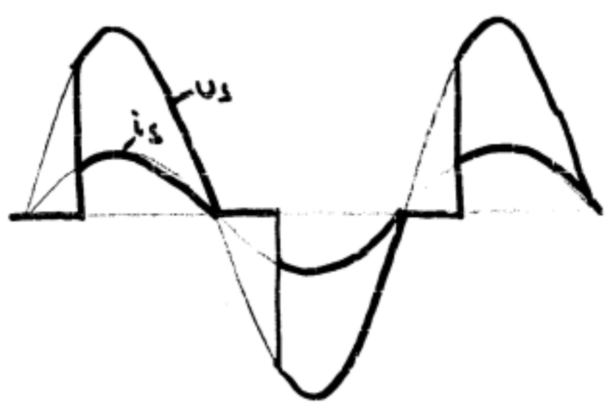
En el regulador de alterna de la figura, dibujar la tensión y la corriente en la carga para un ángulo de disparo α=60º en los siguientes casos:

a) Carga resistiva pura.

b) Carga R-L siendo $\text{arctg}\,\frac{\omega L}{R} = 30^{\circ}$



a)



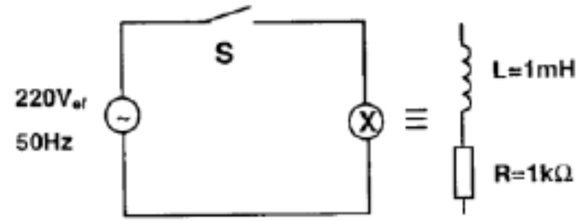
b) Este regulador no se puede emplear con una carga inductiva ya que el tiristor no es capaz de bloquear la tensión directa cuando deje de conducir.

Problema

CUESTION 4

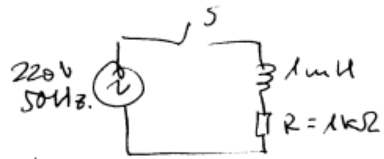
El regulador de alterna de la figura alimenta una bombilla cuyo equivalente es una resistencia ($R=1k\Omega$) en serie con una inductancia ($L=1mH$). Se pide:

a) Calcular el ángulo de retardo α en el disparo del interruptor S para que la potencia entregada sea de 30W.
b) Dibuje las formas de onda de tensión e intensidad en la carga.
c) ¿Qué dispositivo utilizaría como interruptor?



Problema

CUESTION 4



Calculamos la constante de tiempo:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{1mH}{1k\Omega} = 1\mu s \ll 10\,ms,$$ que es el semiperiodo de la tensi…

Podemos asumir que el transitorio que se produce en cada conexión de S es despreciable en el tiempo.

$$P = \frac{U_{ef}^2}{R} = 30W \Rightarrow U_{ef}^2 = 30 \cdot 1k = 30.000\ V^2$$

$$U_{ef} = 173'2$$

$$U_{ef}^2 = \frac{1}{\pi}\int_\alpha^\pi (220\cdot\sqrt{2}\cdot \mathrm{sen}\,\omega t)^2\, d\omega t$$

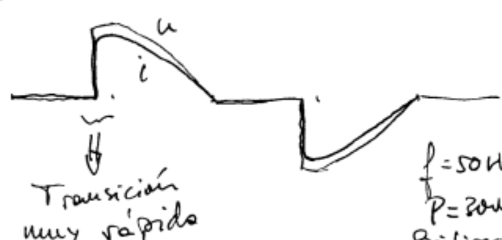
$$= \frac{220^2\cdot \cancel{2}}{\pi}\int_\alpha^\pi \frac{1-\cos 2\omega t}{\cancel{2}}\, d\omega t$$

$$= \frac{220^2}{\pi}\cdot\left[(\pi-\alpha) + \frac{\mathrm{sen}\,2\alpha - \cancel{\mathrm{sen}\,2\pi}^{\,0}}{2}\right] = 30.000$$

$$(\pi-\alpha) + \frac{\mathrm{sen}\,2\alpha}{2} = 1'947$$

$$\mathrm{sen}\,2\alpha = -2'38 + 2\alpha \Rightarrow \boxed{\alpha \simeq 78'9^\circ}$$

gráficamente:



f = 50Hz
P = 30W
Bidirecc
$\Rightarrow$ TRIAC.

CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

Cicloconvertidores

Problemas

cei@upm.es

Enunciado. Problema 5.14

Diseñar un cicloconvertidor monofásico mediante tiristores, que duplique el periodo ($T=20$ ms) de la tensión de entrada (v_G) aplicada sobre una carga resistiva. El ángulo de disparo de todos los tiristores debe ser el mismo y de valor constante 30º. Indicar:

1) El circuito eléctrico del cicloconvertidor.
2) Forma de onda de la tensión aplicada a la carga R.
3) Las señales de disparo de todos los tiristores.
4) Valor eficaz de la tensión en la carga R.

Datos: $v_G = V_{Gp} \cdot \text{sen}(\omega t)$; $V_{Gp} = 220\sqrt{2}$ V

CEI UPM

POLITÉCNICA

Solución. Problema 5.14

Apartado 1)

El circuito eléctrico del cicloconvertidor monofásico-monofásico, Figura 5.14.1, está compuesto por dos bloques rectificadores de onda completa conectados en antiparalelo. El rectificador que forma el convertidor positivo (aplica tensión positiva a la carga), está compuesto por los tiristores S_1-S_4, y el rectificador que forma el convertidor negativo (aplica tensión negativa a la carga), está compuesto por los tiristores S_5-S_8.

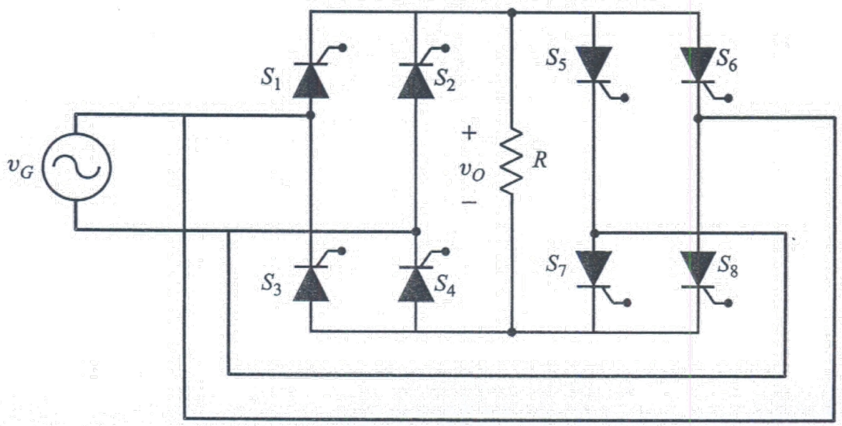


FIGURA 5.14.1 Detalle del cicloconvertidor monofásico-monofásico.

Apartado 2)

La tensión aplicada sobre la carga resistiva se muestra en la Figura 5.14.2. Como se puede apreciar, la frecuencia de la tensión aplicada sobre la carga es la mitad que la de entrada, o lo que es equivalente, el periodo de la tensión aplicada sobre la carga es el doble, 40 ms, que el periodo de la tensión de entrada, 20 ms.

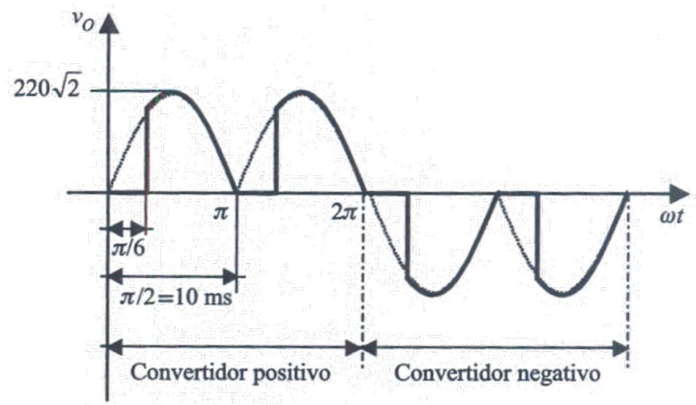


FIGURA 5.14.2 Tensión aplicada a la carga.

Solución. Problema 5.14

Apartado 3)

Para conseguir una frecuencia de salida mitad que la de entrada, es necesario disparar los tiristores con la secuencia adecuada. En la Figura 5.14.3 se muestra la secuencia de disparo que se debe emplear en este cicloconvertidor.

En el primer semiperiodo la tensión de entrada es positiva y la de salida también debe ser positiva; por tanto, debemos disparar dos de los tiristores del convertidor positivo, en este caso S_1S_4. En el segundo semiperiodo la tensión de entrada es negativa y la de salida debe ser positiva; de nuevo debemos disparar dos de los tiristores del convertidor positivo, en este caso S_2S_3. En el tercer semiperiodo la tensión de entrada es positiva y la de salida debe ser negativa; en este caso será necesario disparar dos tiristores del convertidor negativo, en concreto S_5S_8. Finalmente, en el cuarto semiperiodo la tensión de entrada es negativa y la de salida deber ser también negativa; por tanto, será necesario disparar dos de los tiristores del convertidor negativo, en este caso S_6S_7. A partir del quinto semiperiodo se repite la secuencia de disparo descrita.

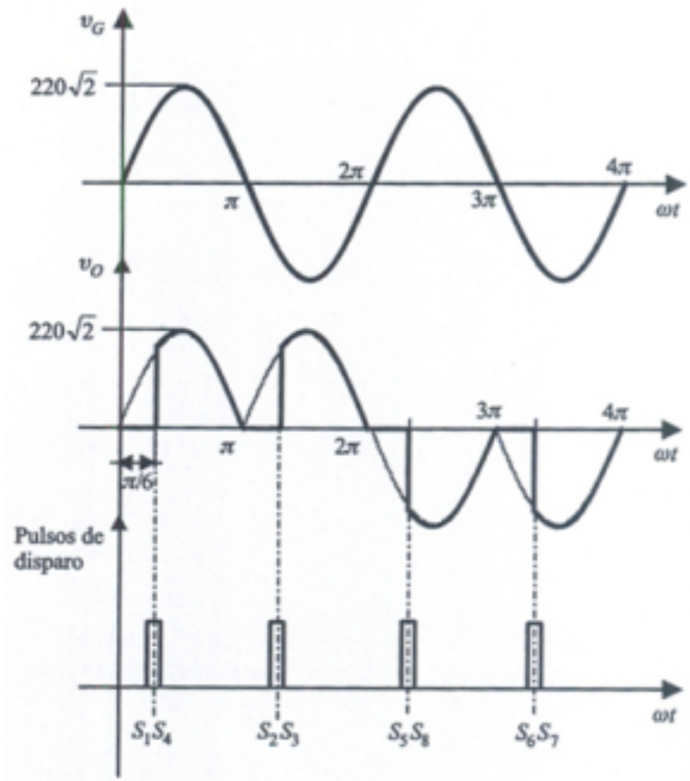


FIGURA 5.14.3 Secuencia del pulsos de disparo aplicados al cicloconvertidor.

Apartado 4)

Dado que la definición de valor eficaz viene dada por la raíz cuadrada de la integral de la señal elevada al cuadrado (área) distribuida durante un periodo, esto nos permite realizar el cálculo del valor eficaz mediante la tensión de un semiperiodo, ya que las tensiones al cuadrado de todos los semiperiodos son iguales:

$$V_{Oef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (V_{Gp}\,\mathrm{sen}\,\omega t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{\frac{4\pi}{4}}\int_\alpha^\pi (V_{Gp}\,\mathrm{sen}\,\omega t)^2 d(\omega t)} = V_{Gp}\sqrt{\frac{1}{\pi}\int_\alpha^\pi \mathrm{sen}^2\,\omega t\, d(\omega t)} =$$

$$= V_{Gp}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\pi (1-\cos 2\omega t) d(\omega t)} = V_{Gp}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\omega t - \left(\frac{1}{2}\mathrm{sen}\,2\omega t\right)\right]_\alpha^\pi} =$$

$$= V_{Gp}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\pi - \alpha - \frac{1}{2}(\mathrm{sen}\,2\pi - \mathrm{sen}\,2\alpha)\right]}$$

$$V_{Oef} = V_{Gp}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\pi - \alpha + \frac{\mathrm{sen}\,2\alpha}{2}\right]}$$

Dado que en este caso el ángulo de disparo tiene un valor de 30° o $\pi/6$ radianes, el valor de la tensión eficaz aplicada sobre la carga será de:

$$V_{Oef} = V_{Gp}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\pi - \alpha + \frac{\mathrm{sen}\,2\alpha}{2}\right]} = 220\sqrt{2}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\pi - \frac{\pi}{6} + \frac{\mathrm{sen}\,\frac{2\pi}{6}}{2}\right]} = 220\sqrt{2}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\frac{5\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{2\cdot 2}\right]}$$

$$\Rightarrow \quad V_{Oef} = 216{,}71\ \mathrm{V}$$

Enunciado. Problema 5.16

Se desea mover, de forma lenta y controlada, un motor síncrono monofásico, de tensión nominal 150 V, que presenta una impedancia compuesta por $R = 1{,}5\ \Omega$ y $L = 55$ mH. Para ello se dispone de un cicloconvertidor trifásico formado por puentes de tiristores y conectado a la red trifásica de 230/400 V, como el de la Figura 5.16.1. Se desea aplicar señales alternas de frecuencia entre 3 y 11 Hz.

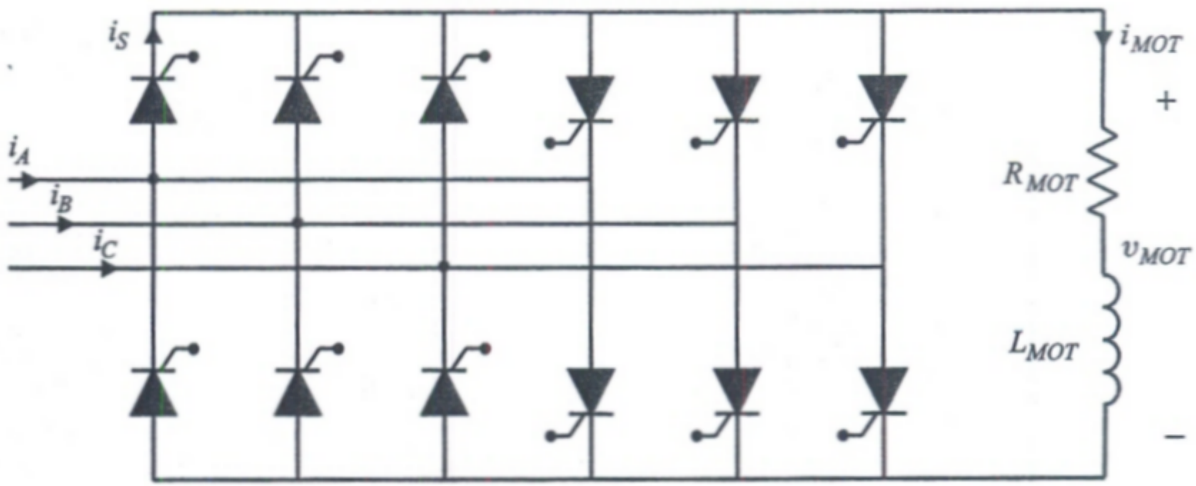


FIGURA 5.16.1 Cicloconvertidor trifásico-monofásico.

Calcular, para las dos velocidades extremas:

1) El ángulo de disparo.
2) La corriente eficaz por el motor.
3) La potencia en el motor.
4) La corriente de fase de entrada al cicloconvertidor.
5) La corriente eficaz en cada rama de tiristores.
6) El factor de potencia que presenta el conjunto cicloconvertidor-motor, suponiendo un rendimiento del 87%.

CEI UPM

POLITÉCNICA

Solución. Problema 5.16

Las ecuaciones para el análisis de este problema provienen de *Variable frequency AC motor drive systems*, de David Finney, Ed. Peter Peregrinus, Ltd., 1988, y de *Power Converter Circuits*, William Shepherd y Li Zhang, Ed. Marcel Dekker, Inc., 2004.

El conjunto cicloconvertidor más motor presenta un comportamiento que se puede entender, bien mediante el comportamiento dinámico del motor, que se describe mediante el deslizamiento, o bien desde el comportamiento de todo el conjunto, que se presenta en la fuente de energía (la red eléctrica) como el factor de potencia. En general, es asumible que el rizado de tensión de la onda aplicada al motor es menor que el valor del armónico fundamental de la tensión, y, por tanto, es despreciable.

Apartado 1)

Para establecer el ángulo de disparo de los tiristores es necesario tener en cuenta que se desea mantener el valor eficaz del armónico fundamental de la onda de tensión aplicada al motor para ambas frecuencias, Figura 5.16.2. El ángulo de disparo se relaciona con la tensión eficaz aplicada al motor ($V_{MOT\,ef}$) y la tensión de la red por las siguientes ecuaciones:

$$\sqrt{2}\cdot V_{MOT\,ef} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{AN\,ef}\sqrt{2}\cos\alpha = \frac{3\sqrt{3}}{\pi}\frac{V_{AB\,ef}\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\cos\alpha$$

Luego, para las dos frecuencias extremas que es necesario obtener, el valor del ángulo de disparo de los tiristores es el mismo y tiene un valor de:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\pi\sqrt{2}\,V_{MOT\,ef}}{3\sqrt{3}\,V_{AN\,ef}\sqrt{2}}\right) = \arccos\left(\frac{\pi\,150}{3\sqrt{3}\,230}\right) = 66{,}78^{\circ}$$

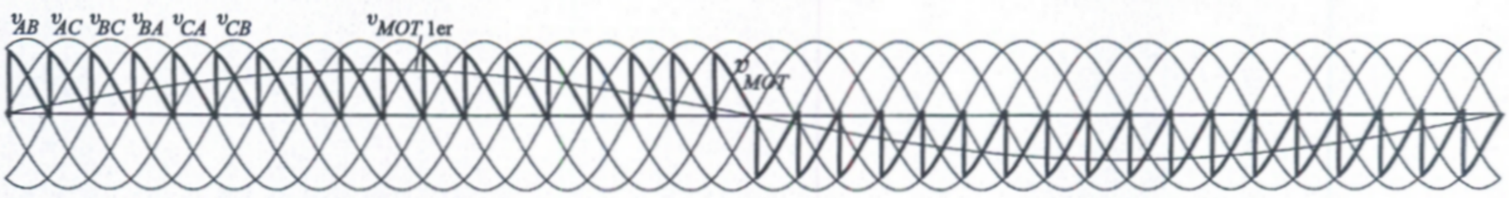


FIGURA 5.16.2 Tensión aplicada sobre el motor (v_{MOT}), y su armónico fundamental ($v_{MOT\,1er}$).

Solución. Problema 5.16

Apartado 2)

La impedancia que presenta el motor, frente al armónico fundamental, viene dada por:

$$|Z_{MOT}| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

Para 3 Hz:

$$|Z_{MOT}| = \sqrt{1{,}5^2 + (2\cdot\pi\cdot 3\cdot 55\cdot 10^{-3})^2} = 1{,}8234\ \Omega$$

Para 11 Hz:

$$|Z_{MOT}| = \sqrt{1{,}5^2 + (2\cdot\pi\cdot 11\cdot 55\cdot 10^{-3})^2} = 4{,}0866\ \Omega$$

Por tanto, la corriente eficaz, correspondiente al primer armónico en el motor, valdrá:

Para 3 Hz:

$$I_{MOT\,ef} = \frac{V_{MOT\,ef}}{|Z_{MOT}(3\text{ Hz})|} = \frac{150\text{ V}}{1{,}8234\ \Omega} = 82{,}264\text{ A}$$

Con un deslizamiento (para el motor) de:

$$\cos\varphi_{3\,\text{Hz}} = \frac{R_{MOT}}{|Z_{MOT}(3\text{ Hz})|} = \frac{1{,}5\ \Omega}{1{,}8234\ \Omega} = 0{,}8226 \text{ en atraso}$$

Para 11 Hz:

$$I_{MOT\,ef} = \frac{V_{MOT\,ef}}{|Z_{MOT}(11\text{ Hz})|} = \frac{150\text{ V}}{4{,}0866\ \Omega} = 36{,}7053\text{ A}$$

Con un deslizamiento (para el motor) de:

$$\cos\varphi_{11\,\text{Hz}} = \frac{R_{MOT}}{|Z_{MOT}(11\text{ Hz})|} = \frac{1{,}5\ \Omega}{4{,}0866\ \Omega} = 0{,}3671 \text{ en atraso}$$

Solución. Problema 5.16

Apartado 3)

Para establecer la potencia obtenida en el motor es necesario tener en cuenta el $\cos\varphi$ como deslizamiento, luego:

$$P_{MOT} = V_{MOT\,ef} \cdot I_{MOT\,ef} \cdot \cos\varphi$$

Para 3 Hz:

$$P_{MOT\,ef} = 150\ \text{V} \cdot 82{,}264\ \text{A} \cdot 0{,}8226 = 10{,}15\ \text{kW}$$

Para 11 Hz:

$$P_{MOT\,ef} = 150\ \text{V} \cdot 36{,}7053\ \text{A} \cdot 0{,}3671 = 2.021{,}17\ \text{W}$$

Apartado 4)

La corriente de fase de entrada al conjunto cicloconvertidor y motor, suponiendo que sea aportada equilibradamente entre las tres fases, vale para $f = 3$ Hz:

$$I_{AN\,ef}\,(3\ \text{Hz}) = \frac{I_{MOT\,ef}(3\ \text{Hz})}{\sqrt{3}} = \frac{82{,}264\ \text{A}}{\sqrt{3}} = 47{,}495\ \text{A}$$

y para $f = 11$ Hz, vale:

$$I_{AN\,ef}\,(11\ \text{Hz}) = \frac{I_{MOT\,ef}(11\ \text{Hz})}{\sqrt{3}} = \frac{36{,}7053\ \text{A}}{\sqrt{3}} = 21{,}192\ \text{A}$$

Solución. Problema 5.16

Apartado 5)

La corriente eficaz que circula por el conjunto de los dos tiristores que forman una de las dos ramas que se conecta a cada fase vale, para $f = 3$ Hz:

$$I_{tiristor\,ef}\,(3\ \text{Hz}) = \frac{I_{AN\,ef}(3\ \text{Hz})}{\sqrt{2}} = \frac{47{,}495\ \text{A}}{\sqrt{2}} = 33{,}584\ \text{A}$$

y para $f = 11$ Hz:

$$I_{tiristor\,ef}\,(11\ \text{Hz}) = \frac{I_{AN\,ef}(11\ \text{Hz})}{\sqrt{2}} = \frac{21{,}192\ \text{A}}{\sqrt{2}} = 14{,}985\ \text{A}$$

Apartado 6)

El factor de potencia que presenta el conjunto cicloconvertidor-motor, considerando únicamente el armónico fundamental, se obtiene, para este caso, de la siguiente ecuación:

$$F_P = \cos\varphi = \frac{P_{CONJUNTO}}{3 \cdot V_{AN\,ef} \cdot I_{AN\,ef}} = \frac{P_{MOT}}{3 \cdot V_{AN\,ef} \cdot I_{AN\,ef} \cdot \eta_{CONJUNTO}}$$

Luego el factor de potencia para 3 Hz es:

$$F_P = \cos\varphi = \frac{10{,}15\ \text{kW}}{3 \cdot 230\ \text{V} \cdot 47{,}495\ \text{A} \cdot 0{,}87} = 0{,}3560 \text{ en atraso}$$

y para 11 Hz:

$$F_P = \cos\varphi = \frac{2021{,}17\ \text{W}}{3 \cdot 230\ \text{V} \cdot 21{,}192\ \text{A} \cdot 0{,}87} = 0{,}1589 \text{ en atraso}$$

CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

Térmicos

Problemas

cei@upm.es

POLITÉCNICA

CUESTIÓN 1. *(2 puntos)*

Un transistor MOSFET que presenta una resistencia en conducción de valor $R_{DSON}=100m\Omega$, se coloca en un circuito de manera que, cuando conduce, lleva una corriente igual a 10A. La impedancia térmica unión-cápsula de este transistor se muestra en la figura. La resistencia térmica del radiador sobre el que va montado, presenta un valor $R_{RA}=5ºC/W$. La temperatura ambiente es de 30ºC.

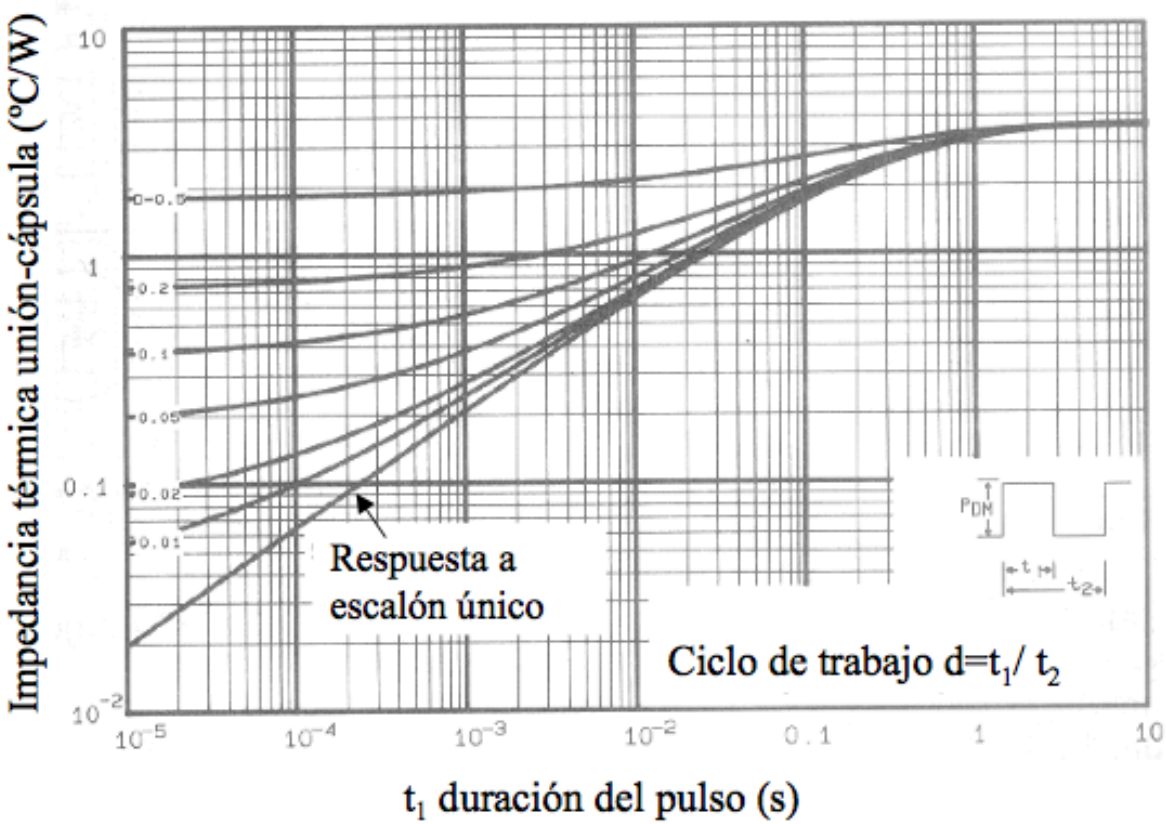
Calcular, para los casos siguientes, la temperatura máxima que alcanza la unión del semiconductor:

a) El transistor lleva pulsos de corriente de 10kHz y ciclo de trabajo 0,1.

b) El transistor conduce de forma permanente.

c) El transistor conduce corriente con una frecuencia de 1Hz y ciclo de trabajo 0,1.

d) En el transistor se produce un único pulso de corriente de 1ms de duración cada 10 minutos de funcionamiento.



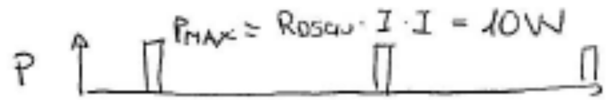
(1) $R_{DSON} = 100\,m\Omega$

$I = 10A$

$R_{\theta RA} = 5\,°C/W$

$T_A = 30°C$

a) $d = 0'1$ y $f_c = 10kHz$



$P_{MAX} = 10W \quad P_{MED} = 1W$

$$\boxed{T_U = T_A + R_{\theta RA} \cdot P_{MED} + Z_{\theta UC}\; P_{MAX}}$$

Duración del pulso $\dfrac{0'1}{T} = 10^{-5} \Rightarrow Z_{\theta UA} \simeq 0'4\,°C/W$

$T_U = 30 + 5 \cdot 1 + 0'4 \cdot 10 = \boxed{39°C}$

También puede hacerse, al ser alta frecuencia así:

$T_U = T_A + P_{MED}(R_{\theta RA} + R_{\theta UC})$

$T_U = 30 + 1\,(5 + 3'5) = 38'5\,°C$

b)

$T_U = T_A + P_{MAX}\,(R_{\theta RA} + R_{\theta UC})$

→ de la gráfica $\simeq 3'5\,°C/W$

c) $P_{MED} = 1W$ $P_{MAX} = 10W$

Duración pulso $\frac{0'1}{T} = 0'1\,s.$ $\Rightarrow$ $Z_{\theta UA} \simeq 2\,°C/W$

$$T_U = T_A + R_{\theta RA} \cdot P_{MED} + Z_{\theta UC} \cdot P_{MAX}$$

$$T_U = 30 + 5 \cdot 1 + 2 \cdot 10 = \boxed{55\,°C}$$

d) El radiador, que presenta una gran inercia térmica, está a temperatura ambiente ya que la potencia media disipada es muy baja. Por tanto, la temperatura en la unión vendrá dada por la impedancia térmica a escalón único:

$$T_U = T_R + Z_{\theta UC} \cdot P_{MAX} = 30 + 0'2 \cdot 10 = \boxed{32\,°C}$$

↳ de la gráfica $\simeq 0'2\,°C/W$

Asignatura: Electrónica de Potencia
Especialidad: Electrónica-Automática (1194)
Preactas: 22 de junio de 2010

Fecha: 09/06/2010
Convocatoria: Junio
Revisión: 24 de junio de 2010

EJERCICIO 1. (2,5 ptos)

En el circuito de la figura, la carcasa del MOSFET se encuentra a 75ºC, se pide calcular:

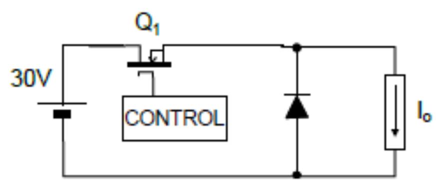
a) Corriente de salida máxima, I_{o1MAX}, cuando Q_1 está encendido siempre.

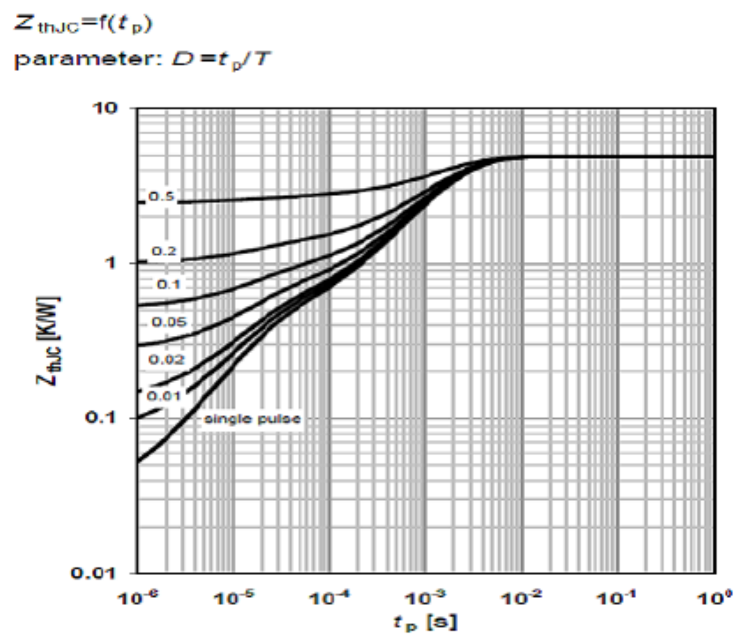
b) Corriente de salida máxima, I_{o2MAX}, si Q_1 está conmutando con D=0.1 y F_s=100kHz

c) Corriente de salida máxima, I_{o3MAX}, si Q_1 está conmutando con D=0.1 y F_s=10kHz

d) Representar la temperatura de la unión, $T_j(t,)$ en los dos casos anteriores de forma aproximada, indicando su valor medio y valor de pico.

e) Para el caso a), Si el MOSFET está conectado al radiador mediante mica, determinar la impedancia térmica del radiador-ambiente para que su temperatura sea de 75ºC cuando el ambiente está a 50ºC.

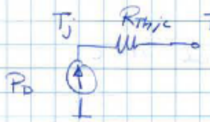




Datos: R_{DSON} = 10 mΩ; T_{jmax}=150ºC; $R_{TH,mica}$ = 1ºC/W

EJERCICIO 1

a)



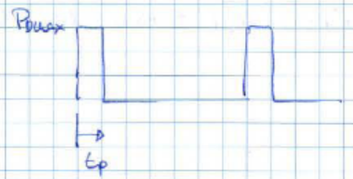
$$T_j = T_c + R_{Thjc} \cdot P_D$$

$$P_D = R_{DSON} \cdot I_o^2$$

$$I_{Omax} = \sqrt{\frac{T_{jmax} - T_c}{R_{Thjc} \cdot R_{DSON}}}$$

$$I_{Omax} = \sqrt{\frac{75}{5 \cdot 10m}} = 38{,}7\,A$$

b) $F_S = 100\,kHz \rightarrow T_S = 10\,\mu s \rightarrow t_p = D \cdot T_S = 1\,\mu s$



GRÁFICA

$$Z_{Thjc}(D=0{,}1;\ 1\,\mu s) = 0{,}55\,°C/W$$

$$T_{jmax} = T_c + R_{Thjc} \cdot P_{Dmax}$$

$$\hookrightarrow I_{Omax_2} = \sqrt{\frac{T_{jmax} - T_c}{Z_{Thjc} \cdot R_{DSON}}} = 117\,A$$

c) $F_S = 10\,kHz \rightarrow T_S = 100\,\mu s \rightarrow t_p = 10\,\mu s$

GRÁFICA $\quad Z_{Thjc}(D=0{,}1,\ t_p = 10\,\mu s) = 0{,}7\,°C/W$

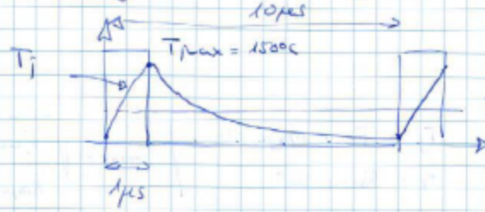
$$I_{Omax_3} = \sqrt{\frac{T_{jmax} - T_c}{Z_{Thjc} \cdot R_{DSON}}} = 103\,A$$

d) d1) $P_{Dmax_2} = R_{DSON} \cdot I_{Omax2}^2 = 136\,W$

$P_{med_2} = D \cdot P_{Dmax_2} = 13{,}6\,W$

75C

$T_{jmed} = P_{med} \cdot R_{Thjc} + T_c = 13{,}6 W \cdot 5\,°C/W + 50\,°C = 118\,°C$

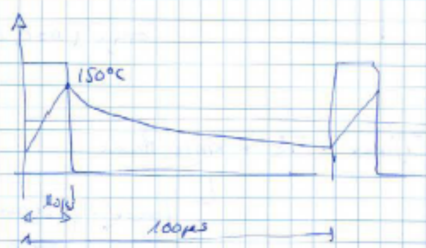


d2) $P_{Dmax_3} = R_{DSON} \cdot I_{Omax_3}^2 = 107\,W$

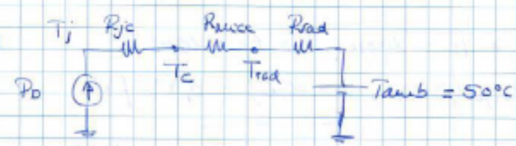
$P_{med_3} = D \cdot P_{Dmax_3} = 10{,}7\,W$

75C

$T_{jmed} = P_{med} \cdot R_{Thjc} + T_c = 10{,}7 \cdot 5 + 50 = 103{,}5\,°C$



e)



$$T_c = T_{amb} + P_{Dmax}(R_{mica} + R_{rad})$$

$$P_D = \frac{T_j - T_c}{R_{jc}} = \frac{150 - 75}{5} = 15\,W$$

ó

$$P_D = R_{DSON} \cdot I_{Omax}^2 = 15\,W$$

$$R_{rad} = \frac{T_c - T_{amb}}{P_{Dmax}} - R_{mica}$$

$$\boxed{R_{rad} = 0{,}66\,°C/W}$$

CEI UPM

POLITÉCNICA

Junio 2010

Asignatura: Electrónica de Potencia
Especialidad: IAEI
Preactas: 22 de junio de 2010

Fecha: 15/06/2010
Convocatoria: Junio
Revisión: 24 de junio de 2010

EJERCICIO 1. (2,5 ptos)

Se quiere diseñar un circuito para limitar la corriente en el arranque de un circuito con un super-condensador (SC), para ello se utiliza el circuito mostrado en la figura. Se pide:

a) Calcula la potencia máxima en la carga que puede aguantar un MOSFET encendido.

Se desean analizar las siguientes estrategias de arranque (asúmase P_{carga} = 0W y $v_o(0)=0$)

b) El circuito de control ajusta la tensión V_{GS} de los MOSFETs de forma que la corriente máxima de salida, i_o, es de 10 A

b.1) Determinar el tiempo requerido de carga y represente V_o, V_{DS} y la potencia disipada en los MOSFETs, P_{MOS}

b.2) Determinar cuántos MOSFETs son necesarios para que el circuito aguante térmicamente. Asúmase que la tensión en el super-condensador es 0 V para el cálculo.

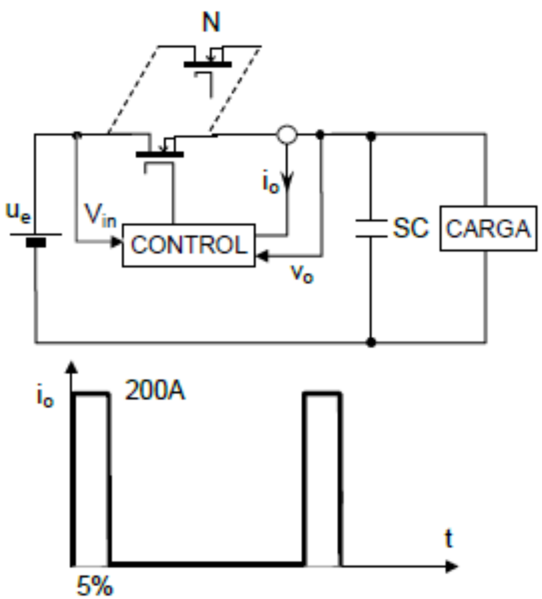
b.3) Si la temperatura de la carcasa, T_{case}, fuese de 25ºC, ¿cuántos MOSFETs serían necesarios?

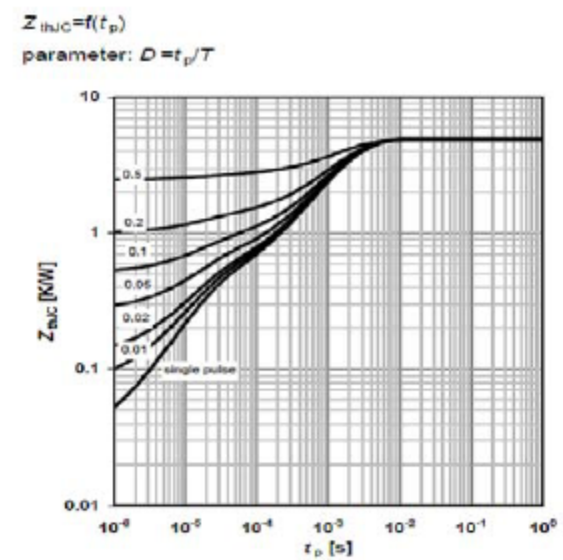
c) El circuito de control conmuta de forma periódica los MOSFETs con frecuencia de 50 kHz y ciclo de trabajo del 5% y limita la corriente máxima de salida, i_o a 200 A (ver figura)

c.1) Determinar el tiempo requerido de carga y represente V_o, V_{DS} y la potencia disipada en los MOSFETs, P_{MOS} durante los dos primeros ciclos

c.2) Determinar cuántos MOSFETs son necesarios para que el circuito aguante térmicamente. Asúmase que la tensión en el super-condensador es 0 V para el cálculo.

Junio 2010



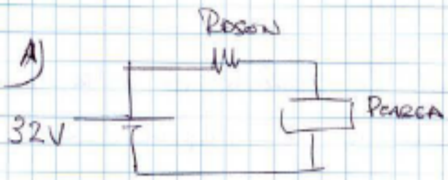


Datos: Vin=32V; SC=10F; R_{DSON} = 10 mΩ; T_{jmax}=125ºC; T_{case} = 75ºC

Solución

Ejercicio 1

A)



$T_j = T_{case} + R_{th}\cdot P_{MOS}$

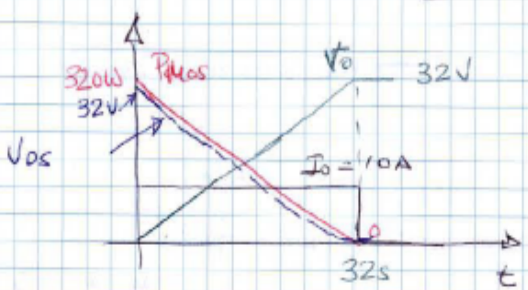
$P_{MOS} = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{50}{5} = 10W$

$R_{DSON}\cdot I_o^2 = 10W \Rightarrow I_o = \sqrt{\frac{10W}{0{,}01}} = 31{,}6A$

$P_{CARGA} = 32V\cdot I_o = \underline{1012W}$

A.1) $V_C = \frac{1}{C}\int_0^t i\,dt \Rightarrow 32V = \frac{1}{C} I_o t \Rightarrow$

$t_{carga} = \frac{32\cdot C}{I_o} = \frac{32\cdot 10}{10} = 32\ seg$



$V_{DS} = V_{IN} - V_o$

A.2) Al inicio $P_{MOS} = 320W$ $\qquad R_{th} = 5°C/W$ (table)

$\Delta T_{max} = R_{th}\cdot P_{DIS} \Rightarrow P_{DIS} = \frac{50°C}{5\,K/W} = 10W$

Cada MOSFET puede disipar 10W $\Rightarrow$

$Nº\ MOSFETs = \frac{320W}{10W/MOSFET} = 32\ MOSFETs$

A.3) Si $T_{case} = 25°C$ $\qquad \Delta T_{max} = 100°C$

$P_{MOS} = \frac{\Delta T_{max}}{R_{th}} = \frac{100}{5} = 20W$

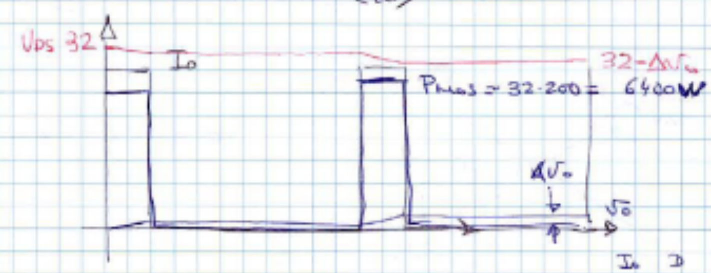
Ahora cada MOSFET puede disipar el doble luego hacen falta 16 MOSFETs

C) En este caso en el la corriente es pulsante hay que tener en cuenta la impedancia térmica transitoria

C.1) $\langle i_o \rangle = 200\cdot D = 10A$ $\qquad T_s = 20\mu s$

luego el tiempo de carga será el mismo

$t_{carga} = \frac{32V\cdot 10F}{\langle i_o \rangle} = 32\ seg$



$\Delta V_o = \frac{2\cdot \overset{I_o}{200}\cdot \overset{D}{0{,}05}\cdot \overset{T_s}{20\mu s}}{C} = 40\mu V$

C.2) $t_p = D\cdot T_s = 0{,}05\cdot 20\mu s = 1\mu s$

$Z_{th}(t_p, D) = 0{,}3°C/W$

$t_j = t_{case} + Z_{th}(t_p, D)\cdot P_{max} \Rightarrow P_{max} = \frac{\Delta T}{Z_{th}} = \frac{50}{0{,}3} = 167W/MOSFET$

$Nº\ MOSFET = \frac{6400W}{167W} = 38\ MOSFETs$

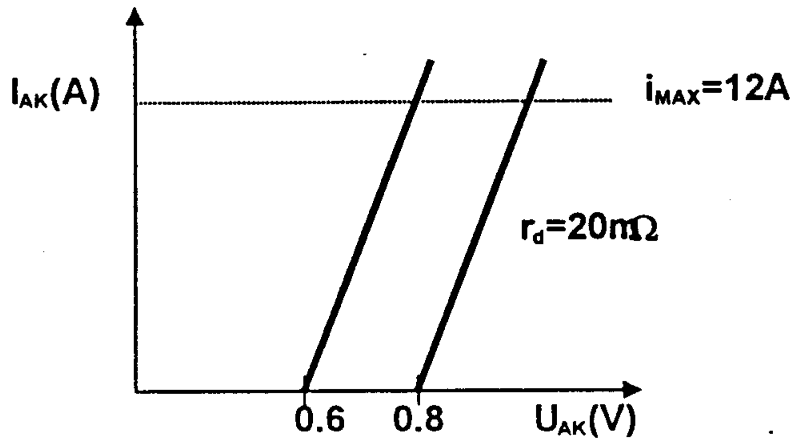
CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

Asociación de Semiconductores

Problemas

cei@upm.es

En la rama de un circuito se colocan 2 diodos en paralelo para llevar una corriente total de valor 20A. Las curvas características máxima y mínima correspondientes a los diodos elegidos se muestran en la figura.



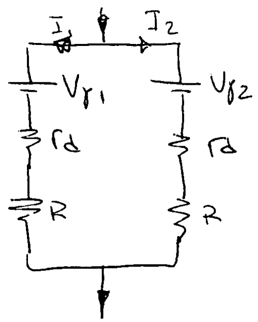
Se pide:

a) Calcular la resistencia de ecualización necesaria que asegura la no destrucción de los diodos.

b) Calcular, para el peor caso de distribución de corriente, la potencia que disipa cada diodo y las resistencias de ecualización.

c) Si se conectasen tres diodos en paralelo (en lugar de dos), calcular si sería necesario colocar resistencias de ecualización.

a)



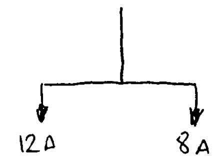
$$\begin{cases} V_{\gamma 1} + (r_d + R) I_1 = V_{\gamma 2} + (r_d + R) I_2 \\ I_1 + I_2 = I_{TOT} \end{cases}$$

Con $I_{TOT} = 20A$, $V_{\gamma 1} = 0'6V$, $V_{\gamma 2} = 0'8V$, $r_d = 0'02\,\Omega$

con $R=0$ $\quad I_1 = 15A \quad$ e $\quad I_2 = 5A$ $\Rightarrow$ hay que ecualizar.

$$R = \frac{\Delta V_\gamma}{2I - I_{TOT}} - r_d \underset{I=12}{=} 30\,m\Omega.$$

b)



$P_{D1} = 0'6 \cdot 12 + 0'02 \cdot 12^2 = 10'08\ W$
$P_{D2} = 0'8 \cdot 8 + 0'02 \cdot 8^2 = 7'68\ W$

$P_{R1} = 0'03 \cdot 12^2 = 4'32\ W$
$P_{R2} = 0'03 \cdot 8^2 = 1'92\ W$

c) Sin R; el peor caso es 2 diodos V_γ max y 1 diodo V_γ min:

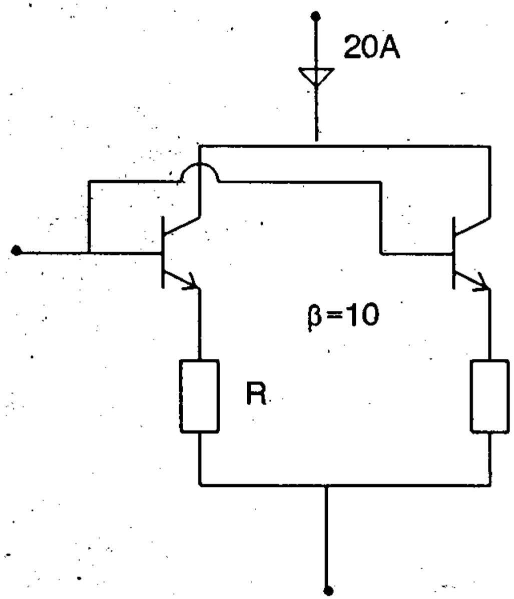
$$V_{\gamma MIN} + r_d I_{MAX} = V_{\gamma MAX} + r_d I_{MIN}$$
$$I_{MAX} + 2 I_{MIN} = I_{TOT}$$

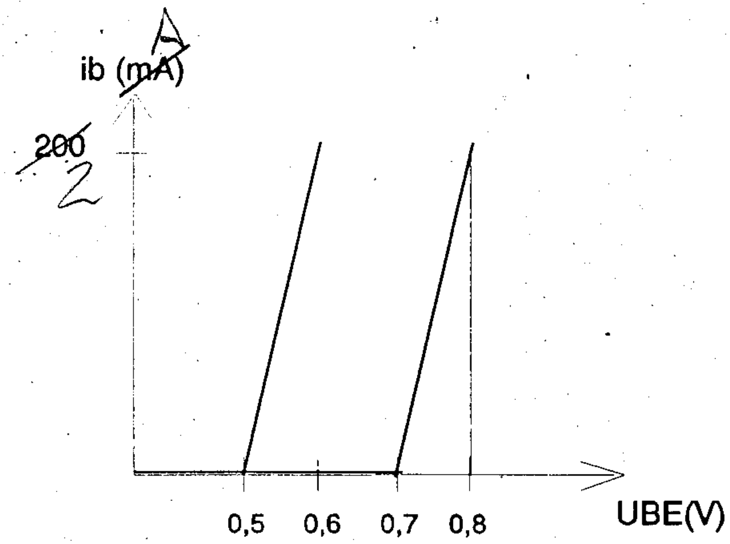
$V_{\gamma MIN} = 0'6 \quad V_{\gamma MAX} = 0'8 \quad r_d = 0'02$

$I_{TOT} = 20A$.

$\Rightarrow I_{MAX} = \boxed{13'3\ A}$ $\Rightarrow$ Si es necesario ecualizar

4. Se desea conectar dos transistores bipolares en paralelo, para conducir una intensidad máxima de 20A, tal y como se muestra en la figura 1. Las curvas características de los transistores se encuentran entre las mostradas de la figura 2.





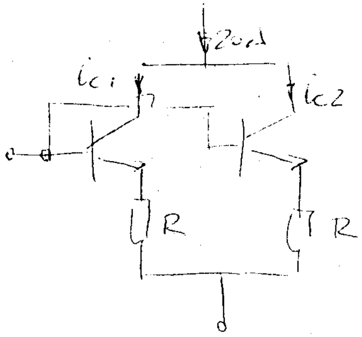
Se pide:

a) Calcular el valor de R, si queremos limitar la intensidad máxima en cada transistor a 15A.

b) Justificar cómo afectan los diferentes parámetros de los dispositivos, y las características del circuito (intensidad máxima), en la ecualización y la disipación de potencia.

7. a)

Al estar en paralelo, se debe cumplir:



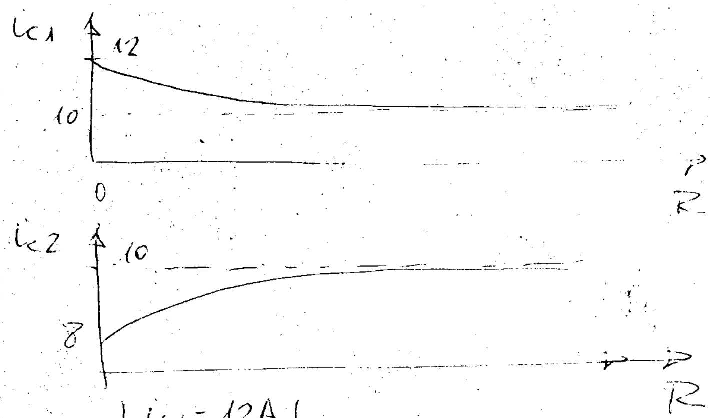
$$\begin{cases} i_{c1} + i_{c2} = 20\,A \\ U_{BE1} + \frac{\beta+1}{\beta} \cdot i_{c1} \cdot R = U_{BE2} + \frac{\beta+1}{\beta} \cdot i_{c2} \cdot R \end{cases}$$

y de los gráficos, obtenemos:

$$\begin{cases} U_{BE1} = 0'5 + \overset{0'05}{0'5} \frac{i_{c1}}{\beta} & (3) \\ U_{BE2} = 0'7 + \overset{0'05}{0'5} \frac{i_{c2}}{\beta} & (4) \end{cases}$$

sustituyendo (1), (3) y (4) en (2) obtenemos:

$$\boxed{\begin{aligned} i_{c1} &= \frac{12 + 220\,R}{1 + 22\,R} \\ i_{c2} &= \frac{8 + 220\,R}{1 + 22\,R} \end{aligned}}$$



la máxima diferencia $\begin{Bmatrix} i_{c1} = 12A \\ i_{c2} = 8A \end{Bmatrix}$ se da para $R = 0$,

pero nunca llega a 15A, por lo que no hace falta R.

3 b) * Cuanto mayor R ↑ ⇒ { mayor ecualización
más potencia disipada. (?)

* Cuanto menor Imáx del circuito. ⇒ { menor valor de R para ecualizar
menor P.

* Cuanto menor ICmáx ⇒ { mayor R
mayor potencia disipada.

* Cuanto más próximas estén las curvas características de entrada (I_b, V_{be}):

- mejor ecualización
- menor R ⇒ menor potencia disipada

CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

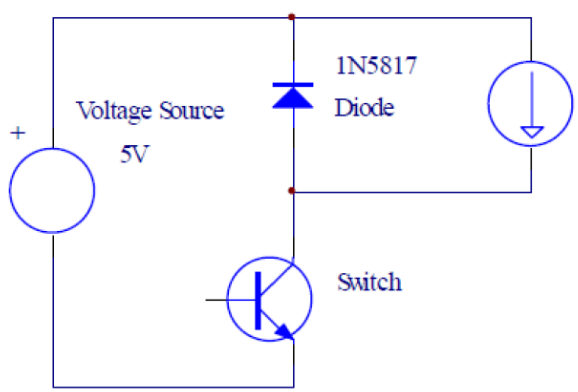
Conmutaciones

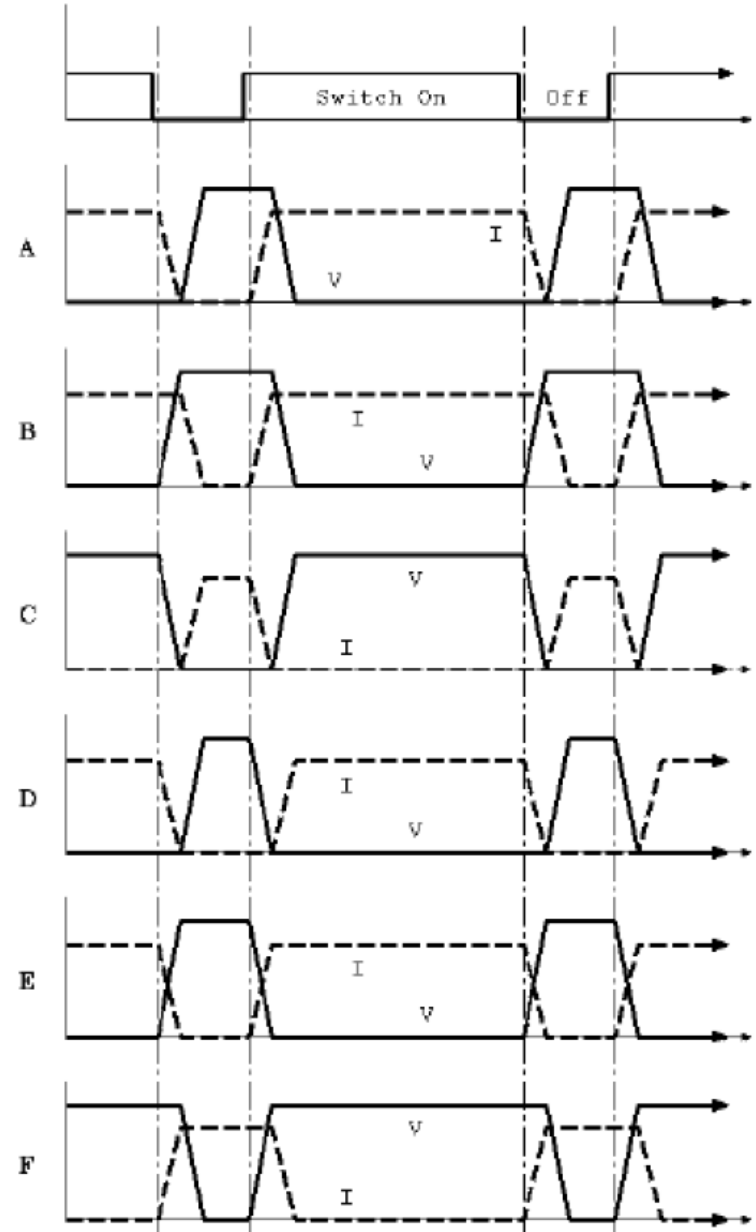
Problemas

cei@upm.es

Junio 2011

- En la figura se muestra un diagrama de un circuito inductivo enclavado. La fuente de tensión es de 5V, y la corriente de carga es de 3A. La frecuencia de conmutación es de 100kHz y el ciclo de trabajo del 75%, Los tiempos de subida y bajada de tensión son de 500 ns. El diodo es un diodo Schottky. De las formas de onda mostradas (continua tensión y discontinua corriente) cuál de ellas representa:
- a. Formas de onda del MOSFET
- b. Formas de onda del diodo
- c. Calcular pérdidas de conmutación en el diodo
- d. Calcular pérdidas de conmutación en el MOSFET
- e. Indique por qué para esta aplicación es mejor un diodo Schottky (dos razones). ¿Qué otro tipo de diodo se podría utilizar?





PROBLEMA 2. (4 puntos)

Un vehículo propulsado por un motor eléctrico de CC, representado en la figura 1, se desplaza con velocidad constante, consumiendo una potencia de P_o=*20kW*. El motor gira con ω=1000rpm.

El motor se alimenta desde un convertidor en puente completo, en el que S_1 tiene la misma señal de gobierno que S_4. Asimismo S_2 y S_3 también comparten señal de gobierno. La frecuencia de conmutación es de 50kHz.

El convertidor recibe la energía desde una fuente de tensión continua de 200V, a través de un filtro *LC*, en el que el rizado de intensidad por la bobina puede considerarse despreciable.

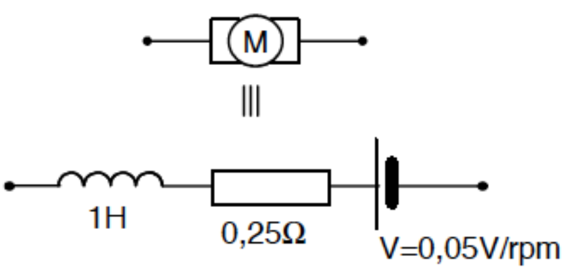


Figura 1

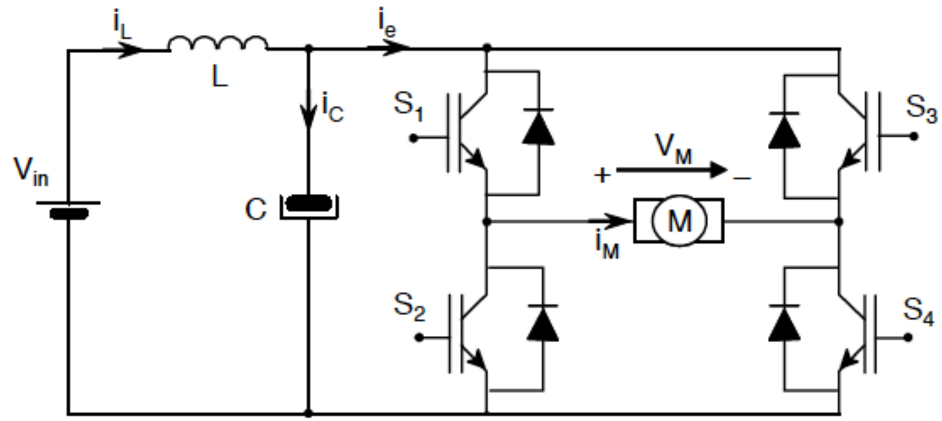


Figura 2

Cont´d

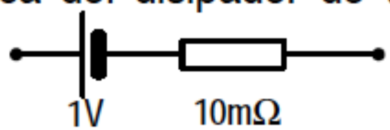
Se pide:

a) Calcular y representar gráficamente las señales de gobierno de los interruptores de puente.

b) Calcular y representar gráficamente las señales $V_M(t)$, $i_M(t)$, $i_e(t)$, $i_c(t)$, $i_{D3}(t)$.

c) Calcular el valor de C de modo que su rizado de tensón sea inferior a $2V_{pp}$.

d) Calcular la impedancia térmica del disipador de S_1, en caso necesario, sabiendo que su equivalente en conducción es

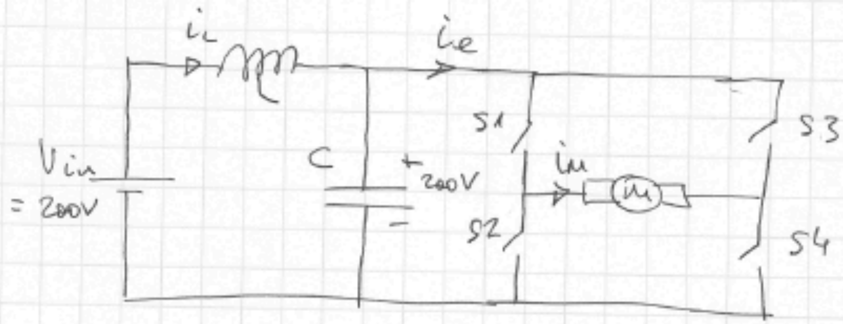


y que se pueden despreciar las pérdidas en conmutación.

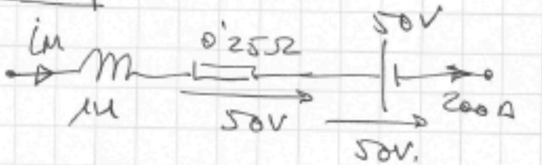
$\theta_{jc} = 0{,}1°C/W$ $\theta_{cs} = 0°C/W$ $\theta_{ja} = 5°C/W$ $Ta_{max} = 50°C$ $Tj_{max} = 150°C$

e) Si el motor sólo trabaja en las condiciones descritas, proponga el convertidor más simple posible para alimentar el motor, y represente gráficamente $V_m(t)$, $i_M(t)$, $i_e(t)$, $i_c(t)$.

f) Calcular el nuevo valor de C para mantener su rizado de tensión en $2V_{pp}$.



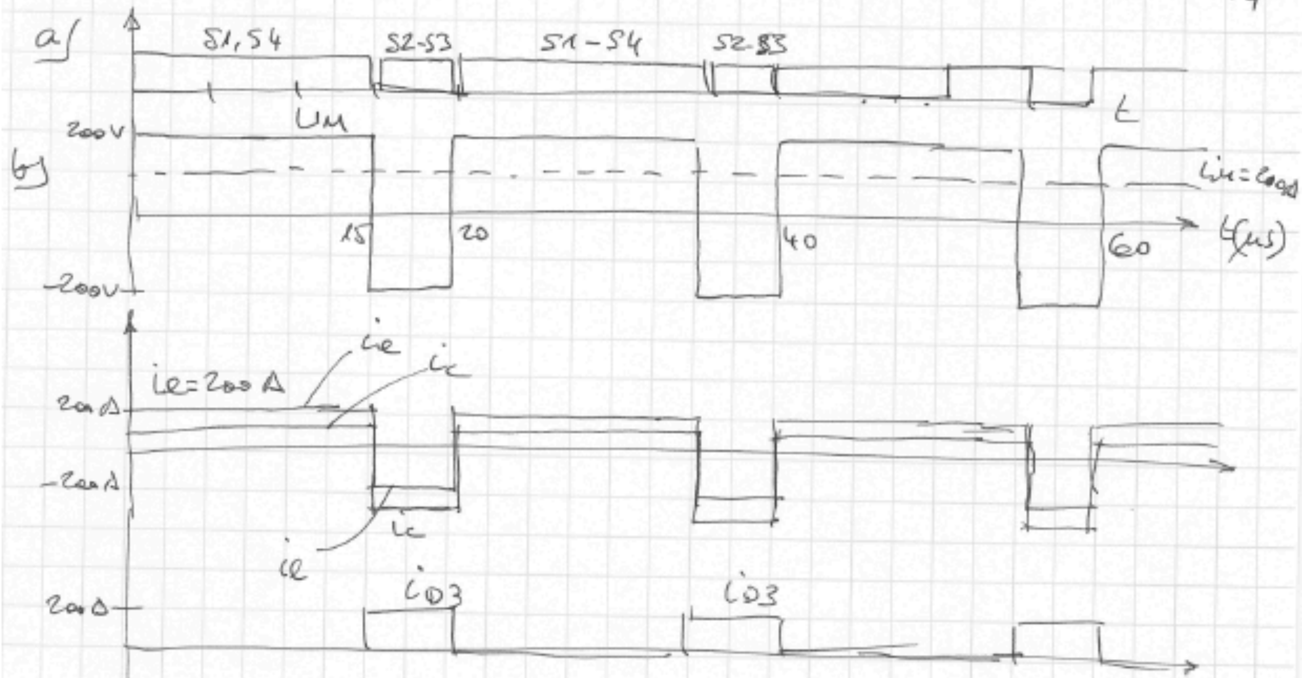
$P_o = 20\,kW \Rightarrow i_L = 100\,A$



$i_M \cdot 50V + i_M^2 \cdot 0'25 = 20\cdot 10^3$

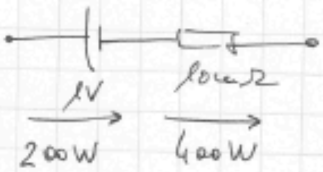
$i_M^2 + 200\, i_M - 80\cdot 10^3 = 0 \Rightarrow i_M = 200\,A$

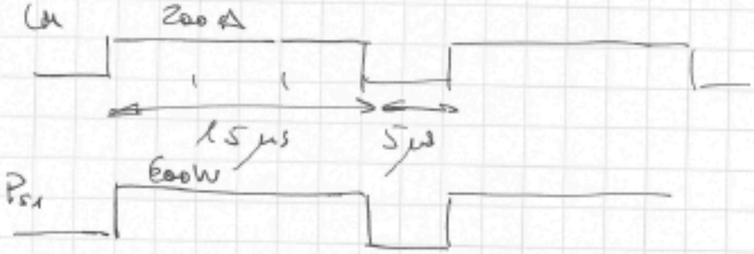
$V_M = 100V.$ $\qquad 200\cdot d - 200\,(1-d) = 100 \Rightarrow d = 3/4$



c) $i = C\dfrac{\Delta u}{\Delta t} \Rightarrow C = i\cdot\dfrac{\Delta t}{\Delta u} = 100\cdot\dfrac{15\,\mu}{2} = \boxed{750\,\mu F}$

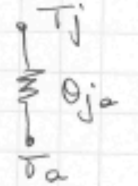
d)





$$\overline{P}_{S1} = 600 \cdot \frac{3}{4} = \boxed{450W}$$

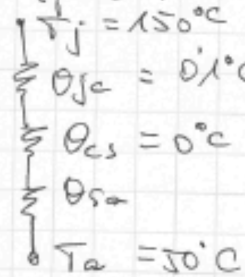
Sin disipador:



$\Delta T = \overline{P}_{S1} \cdot \theta_{ja} = 450W \cdot 5°C/W = 2250°C$!!

Hace falta disipador.

Con disipador:

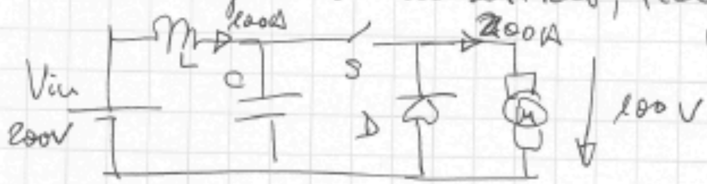


$\Delta T = 450 \cdot 0'1 = 45°C$

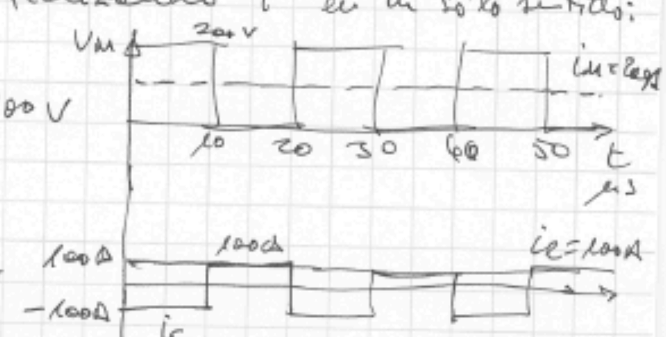
$\Delta T_{máx} = 55°C = 450 \cdot \theta_{sa}$

$$\theta_{sa} = \frac{55}{450} = \frac{11}{90} = \boxed{0'102\ °C/W}$$

e) Si sólo gira en un sentido, realizando T en un sólo sentido:



d = 50%



f)

$$C = i \cdot \frac{\Delta t}{\Delta u} = 100 \cdot \frac{10}{2} = \boxed{500\,\mu F}$$

CEI UPM
Centro de Electrónica Industrial

Thank you for your attention....

José A. Cobos
Ja.cobos@upm.es
www.cei.upm.es