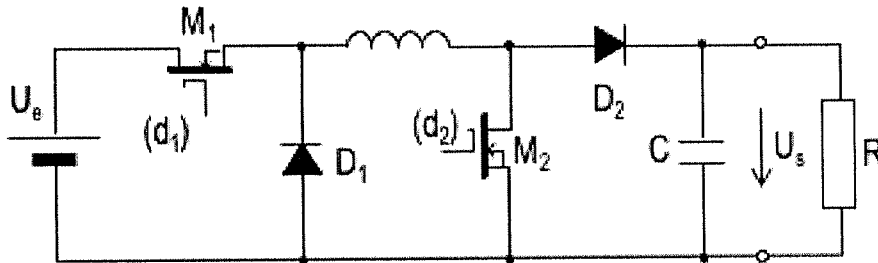


Asignatura: Electrónica Industrial (202)
 Parte I

Especialidad: Ing. Eléctrica 4ºGITI
 Fecha: 23/01/2019
 Publicación de notas: 05/02/19 Revisión de examen: 08/02/19

PROBLEMA 1 (4 puntos)

El circuito de la figura es un convertidor continua-continua (dc-dc) que forma parte del sistema de alimentación de un satélite. La energía proviene de una batería (U_e) cuyo valor nominal es de 28V aunque, en función de su estado de carga, el voltaje real está entre 20 y 36V. El circuito de control regula el ciclo de trabajo del convertidor para mantener la tensión de salida (U_s) siempre regulada a 24V. En este circuito, el condensador de salida C es muy grande para poder despreciar su rizado de tensión. La bobina también presenta una gran inductancia lo que permite asumir que su rizado de corriente es casi cero.



Datos:

$U_e = 28V$ (20-36V)

$U_s = 24V$

$R = 1\Omega$

$f_c = 300kHz$

El convertidor presenta dos modos de trabajo diferentes en función de cómo se disparan los transistores M_1 y M_2 :

MODO A: en este modo, los transistores M_1 y M_2 se encienden y apagan a la vez y por tanto tienen el mismo ciclo de trabajo ($d_1 = d_2 = d$) y la misma frecuencia de conmutación (f_c).

- Dibujar los circuitos equivalentes de cada intervalo y obtener la relación entre U_s y U_e en función del ciclo de trabajo (d). Calcular d para $U_e = 20V$ y $U_e = 36V$
- Indicar la máxima corriente media por L , D_1 y D_2 , en el peor caso para cada uno de ellas.
- Los diodos D_1 y D_2 presentan una tensión de codo $V_\gamma = 1V$ y una resistencia en conducción de 0Ω . Dibujar una gráfica que muestre sus pérdidas en función del ciclo de trabajo d (para el intervalo de valores obtenidos en el apartado a).

MODO B: el transistor M_1 tiene su propio ciclo de trabajo (d_1) y M_2 el suyo (d_2), si bien ambos tienen la misma frecuencia de conmutación (f_c) y se encienden en el mismo instante. Se asume que $d_2 > d_1$ (para simplificar podemos decir que $d_2 = d$ y $d_1 = kd$, siendo k un número entre 0 y 1).

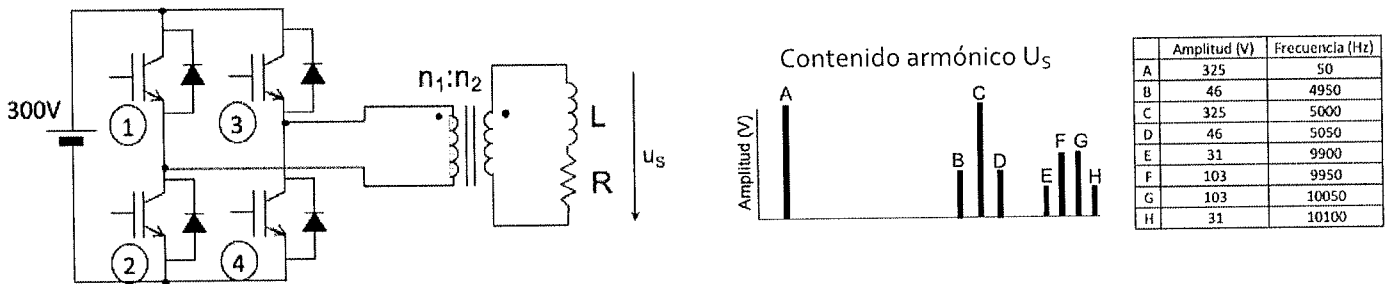
- Dibujar los circuitos equivalentes de cada intervalo y obtener la relación entre U_s y U_e en función del ciclo de trabajo (d) y del parámetro k .
- Para el caso de U_e nominal (28V) y $k = 0,5$, calcular la corriente media de los transistores M_1 y M_2 y en la bobina L .
- Justifique cual cree que es el método de control más adecuado de los dos.

PROBLEMA 2 (3 puntos)

Se dispone de un inversor monofásico como el de la figura cuyos IGBTs están gobernados con modulación PWM senoidal unipolar. A la salida se conecta una carga R-L acoplada mediante un transformador de relación de vueltas $n_1:n_2$.

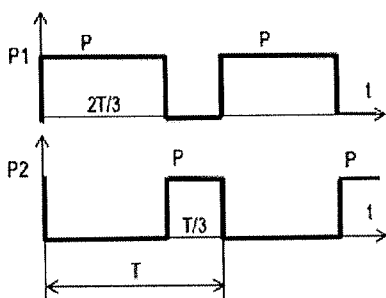
Cuando se trabaja con un índice de modulación $m_a=0,6$, el análisis de los armónicos de la tensión de salida es el que se indica en la misma figura, cuyos valores numéricos se recogen en la tabla (esta figura no está a escala). En estas condiciones:

- ¿Cuál es la frecuencia de conmutación de los IGBTs?
- ¿Cuál es la relación de transformación del transformador (n_1/n_2)?
- Dibujar, aproximadamente, las formas de onda de tensión y corriente por la carga suponiendo que ésta está compuesta por una resistencia $R=100\Omega$ y una inductancia $L=0,318H$.


PROBLEMA 3 (3 puntos)

Un circuito conmutado posee dos transistores que conmutan alternativamente, y que disipan una potencia instantánea P constante cuando están conduciendo. Uno de ellos conduce con un ciclo de trabajo de $2/3$ y el otro $1/3$ (ver figura). Estos dos transistores presentan la impedancia térmica unión-cápsula mostrada en la figura ($R\theta_{uc}$ medida en $^{\circ}C/W$).

- Con la frecuencia de conmutación muy baja (1Hz), calcular la máxima potencia P que pueden disipar si no se utiliza ningún radiador
- Para una frecuencia muy alta (100kHz), calcular la máxima potencia P que pueden disipar si no se utiliza ningún radiador
- Calcular el tamaño del radiador, si $P=30W$, la frecuencia de conmutación es baja (1Hz) y ambos semiconductores van montados en el mismo radiador.
- Calcular el tamaño del radiador, para una frecuencia de conmutación 10 kHz si ambos semiconductores van montados en el mismo radiador y $P=30W$.

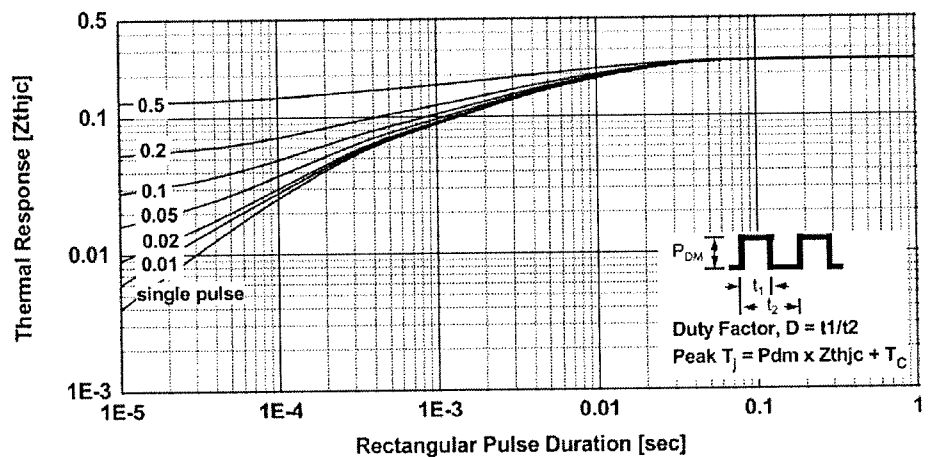


$$T_{AMB}=30^{\circ}C$$

$$T_{U,MAX}=150^{\circ}C$$

$$R\theta_{CR}=0^{\circ}C/W$$

$$R\theta_{CA}=40^{\circ}C/W$$



1

a) circ. equiv I



circ equiv II



Haciendo balance en la bobina:

$$U_e dT + (-U_s)(1-d)T = 0 \quad \Rightarrow \quad U_s = U_e \frac{d}{1-d}$$

U_e	d
20	0'54
28	0'46
36	0'40

b)* La corriente media por D_2 es la corriente de salida

$$i_{D2,med} = \frac{U_s}{R} = \frac{24}{1} = 24 \text{ A}$$

* La corriente media por L es: $i_{L,med} = \frac{i_{D2}}{1-d}$ es peor como tendré lugar para el d_{max}

$$i_{L,med} = \frac{24}{1-0'54} = 52 \text{ A}$$

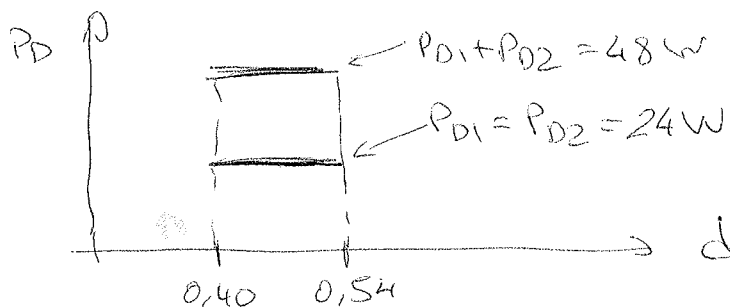
* La corriente media por D_1 es:

$$i_{D1,med} = i_L \cdot (1-d) = \left(\frac{i_{D2}}{1-d}\right) (1-d) = i_{D2} \text{ es decir } 24 \text{ A}$$

c) las pérdidas en los diodos son:

$$P_D = V_g \cdot I_{D,med}$$

Al no depender sus corrientes medias del ciclo de trabajo, las pérdidas son constantes



1º Apellido

2º Apellido

Nombre

Nº de Matriculación Nº de Grupo

Asignatura

Especialidad

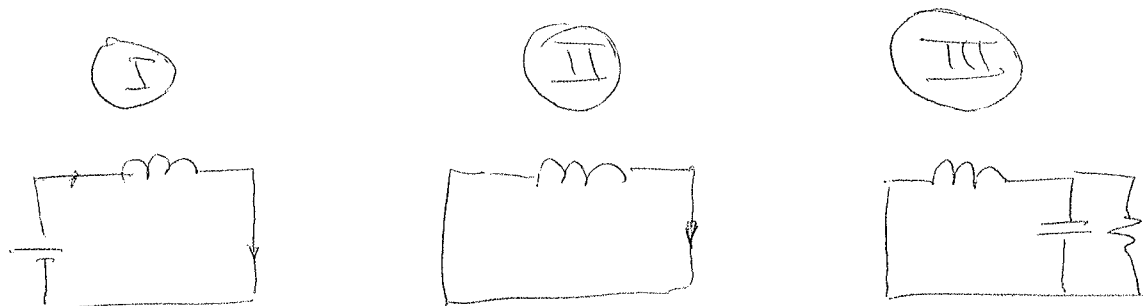
Año de carrera Fecha

EJERCICIO

Hoja nº

CALIFICACION

d)



$$U_L = U_e$$

$$(k\Delta)T$$

$$U_L = 0$$

$$(d - k\Delta)T$$

$$U_L = -U_s$$

$$(1 - d)T$$

Balance: $U_e k\Delta T + 0 + (-U_s)(1 - d)T = 0 \Rightarrow U_s = U_e \frac{k\Delta}{1 - d}$

e) $U_e = 28V$
 $k = 0,5 \Rightarrow d = 0,63$

$$I_{D2} = 24 A ;$$

$$I_{D2} = I_L (1 - d) \Rightarrow I_L = 64,8 A$$

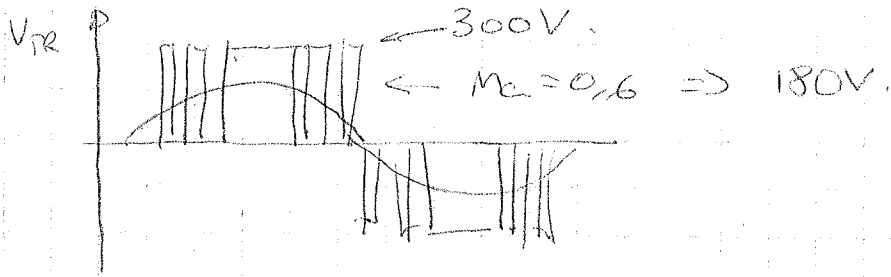
$$I_{M2} = I_L (d) \Rightarrow I_{M2} = 40,8 A$$

$$I_{M1} = \frac{P_s}{U_e} = \frac{U_s^2}{R_{Ue}} = \frac{24^2}{128} = 20,5 A$$

f)

Parece más adecuado el modo A. El modo B tiene 3 intervalos de funcionamiento y en el segundo, la corriente de la bobina circula por D_1 y M_2 sin estar en contacto con la malla de entrada o de salida. Esto provoca una mayor corriente en la bobina y un mayor valor eficiente en M y D para entregar la misma potencia de salida.

2



a) Al ser PWM unipolar, el primer grupo de armónicos sale a $2f_c$
 $\Rightarrow f_c = 2500\text{Hz}$.

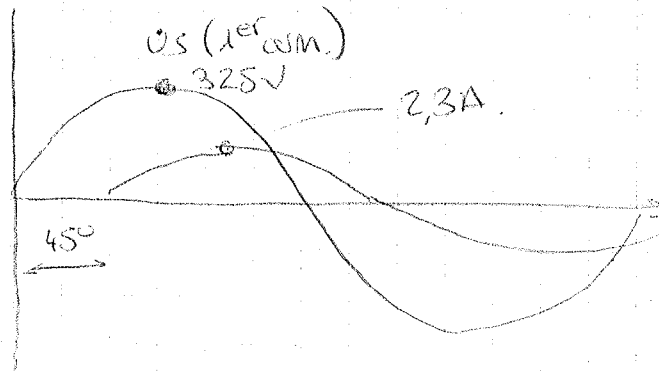
b) en la salida, el armónico fundamental tiene una amplitud de 325V . Por tanto

$$325\text{V} = 180 \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow$$

$$n_2/n_1 = 1,8$$

$$n_1/n_2 = 0,55$$

c)

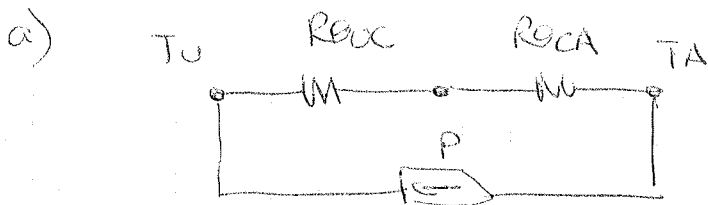


$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = 141 \Omega$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R} = 45^\circ$$

El resto de armónicos no se consideran ya que Z a esas frecuencias es muy grande ($25\text{kHz} \approx 9990\Omega$)

(3)



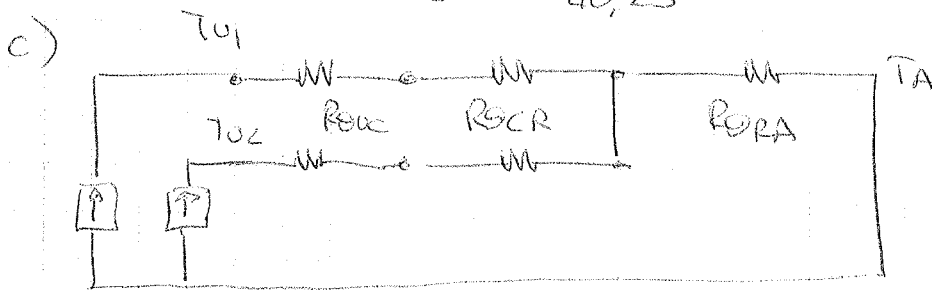
$$T_J = T_A + P(R_{\theta JC} + R_{\theta CA})$$

Al ser muy baja frecuencia, podríamos suponerse P constante

$$P = \frac{T_J - T_A}{\sum R_{\theta}} = \frac{120}{0,25 + 40} = 2,98 \text{ W}$$

b) Al ser muy alta frecuencia, debemos calcular P media

$$P_M = \frac{2}{3} P \quad \frac{2}{3} P = \frac{120}{40,25} \Rightarrow P = 4,47 \text{ W}$$



El radiador siempre disipa P. Al ser frec muy baja, se supone P constante para la unión-cápsula

$$T_{J1} = T_A + P R_{\theta RA} + T(R_{\theta JC} + R_{\theta CR})$$

$$150 = 30 + 30 \cdot R_{\theta RA} + 30(0,25 + 0) \Rightarrow R_{\theta RA} = 3,75 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

d)

$$T_{J1} = T_A + P R_{\theta RA} + P_{\text{MAX}} \cdot Z_{\theta VC}$$

$$\left. \begin{array}{l} d = \frac{2}{3} \\ \frac{1}{\tau} = 6600 \text{ s} \end{array} \right\} Z_{\theta VC} \approx 0,15 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$150 = 30 + 30 R_{\theta RA} + 30 \cdot 0,15$$

$$R_{\theta RA} = 3,85 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Asignatura: Electrónica Industrial (202)
 Parte II

Especialidad: Ing.Eléctrica 4ºGITI
 Fecha: 23/01/2019
 Publicación de notas: 05/02/19 Revisión de examen: 08/02/19

PROBLEMA 1 (5 puntos)

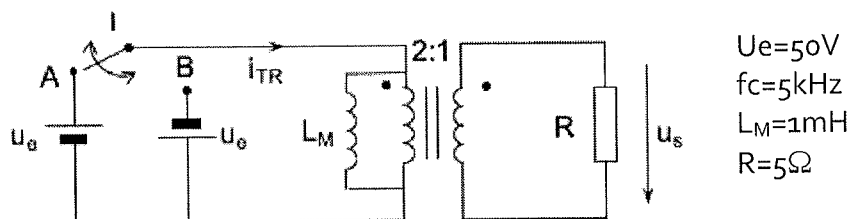
En el circuito mostrado en la figura, el interruptor I trabaja a frecuencia constante y está el 50% del tiempo en la posición A y el otro 50% en la posición B.

- Dibujar la tensión de salida U_S y la corriente de entrada I_{TR} , indicando sus valores principales.
- Dibujar la tensión de salida U_S y la corriente de entrada I_{TR} , indicando sus valores principales si al circuito de la figura, se le añade un rectificador monofásico de doble onda (4 diodos ideales) entre el transformador y la carga R.
- Dibujar la tensión de salida U_S y la corriente de entrada I_{TR} , indicando sus valores principales si al circuito del apartado b) se le añade un filtro LC entre el rectificador y la carga R. Asumir que la inductancia L y la capacidad C son grandes para despreciar sus rizados de corriente y tensión respectivamente.

Ahora el interruptor I cambia su modo de operación de forma que, manteniendo la frecuencia constante, está un 25% del tiempo en la posición A, después otro 25% sin conectar, a continuación otro 25% en la posición B y el 25% final también sin conectar. Para este nuevo modo de funcionamiento, dibujar U_S e I_{TR} en los casos siguientes:

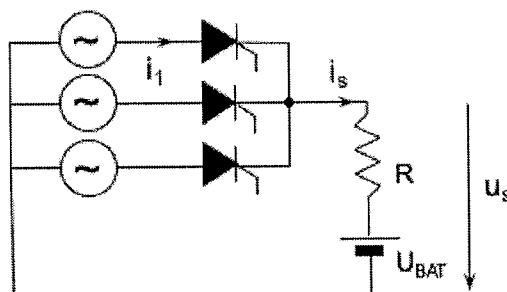
- Circuito del apartado a)
- Circuito del apartado b)

Nota.- No despreciar la corriente magnetizante



PROBLEMA 2 (5 puntos)

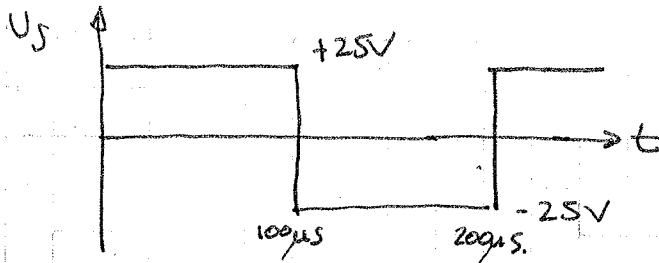
Un vehículo eléctrico, incorpora una batería de 240V de tensión continua (e invariable) y de 48kW·h de capacidad. Para cargarla, se emplea un rectificador trifásico controlado, conectado a una red trifásica de 460V eficaces fase-neutro y 50 Hz. Para limitar la corriente por la batería, se introduce una resistencia en serie R de valor 2Ω (ver figura).



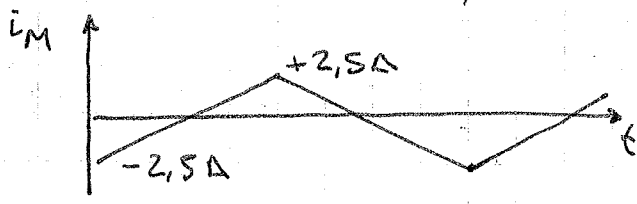
- El ángulo de disparo de los tiristores α se escoge de forma que una carga completa de la batería pueda realizarse en 2 horas. ¿Cuál es el valor del ángulo α ?
- Dibujar U_S , I_s e i_1
- Calcular las pérdidas de potencia en los diodos del rectificador ($V_\gamma=1V$ y $R_d=0\Omega$). Estimar el rendimiento del rectificador.
- Si se deseara cargar la batería en el menor tiempo posible, indicar cuál sería el nuevo α , el tiempo de carga, las pérdidas en los diodos y el rendimiento del rectificador.
- ¿Tendría alguna ventaja (para el rectificador o para la batería) introducir una bobina de filtro de alto valor entre el rectificador y la batería? Justificar la respuesta.

1

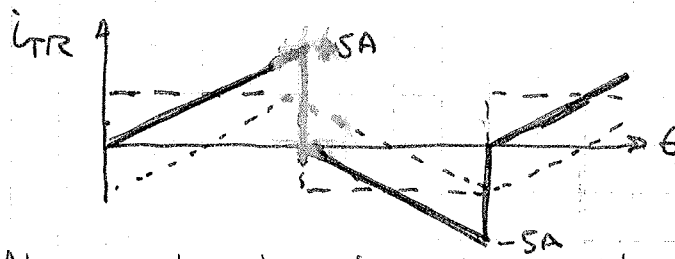
a)



$f = 5 \text{ kHz}$
 $T = 200 \mu\text{s}$

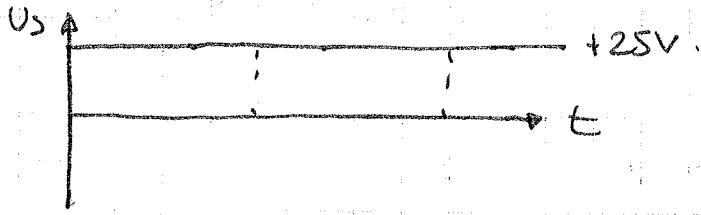


$\Delta i_M = \frac{U_e}{L} \cdot \Delta t$
 $\Delta i_M = \frac{50}{10^{-3}} \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ A}$



es suma de la corriente de salida tras el capacitor y de la i_M .

b) Ahora la tensión de salida es un rectificado

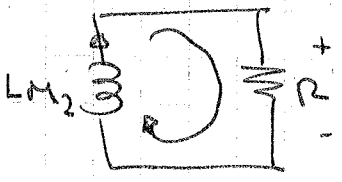


La i_M y i_{TR} no cambian son iguales al apartado a).

c) La presencia del filtro LC sirve para alisar la corriente de salida; sin embargo, ésta ya era constante y por tanto no tiene ningún efecto.

Las ondas son iguales a los del apartado b)

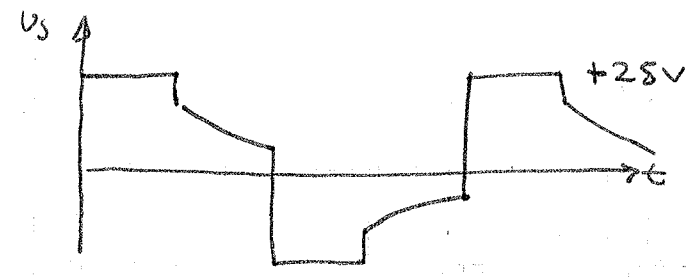
d) En los periodos donde los fuentes de entrada no están conectados, la corriente magnetizante debe circular por el secundario hacia la carga, quedando un circuito equivalente como



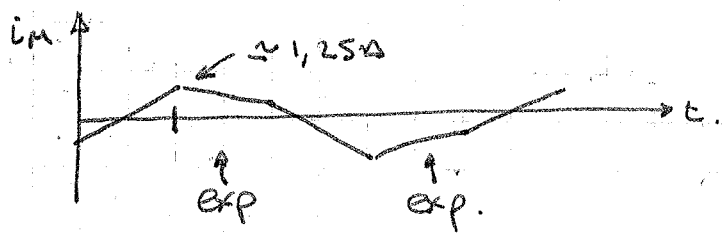
La tensión de salida se corresponderá con este circuito de 1er orden cuyo resultado es una exponencial con constante de tiempo L/R .

$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10^{-3}}{5} = 200 \mu\text{s}$

El tiempo de estos intervalos es de 50 μs con lo que no da tiempo que cumpla con p.

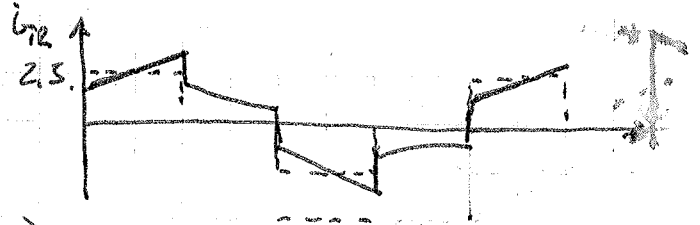


En los tiempos muertos la U_s es $i_m \cdot R$ (la i_m referida a secundario)

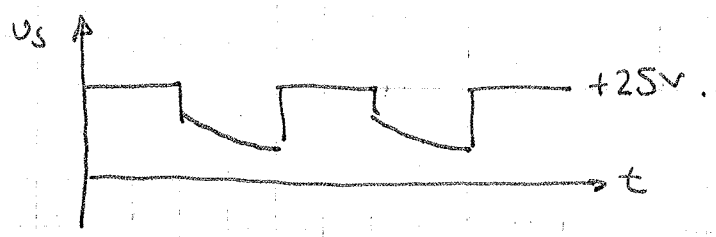


En 50 μs la i_m crece:

$$\Delta i_{m} = \frac{50}{10^{-3}} \cdot 0.05 \cdot 10^{-3} = 2.5A.$$



e) la U_s se rectifica, el seno no cambia



② Batería 48 kWh, 240V \Rightarrow 200 Ah.

a y b) Para una carga a 2h $\Rightarrow I_m = 100A$. (en valor medio).

Por tanto U_s en valor medio debe ser $U_{s,m} = U_{BAT} + R \cdot I_m$

$$U_s = 240 + 2 \cdot 100 = 440V.$$

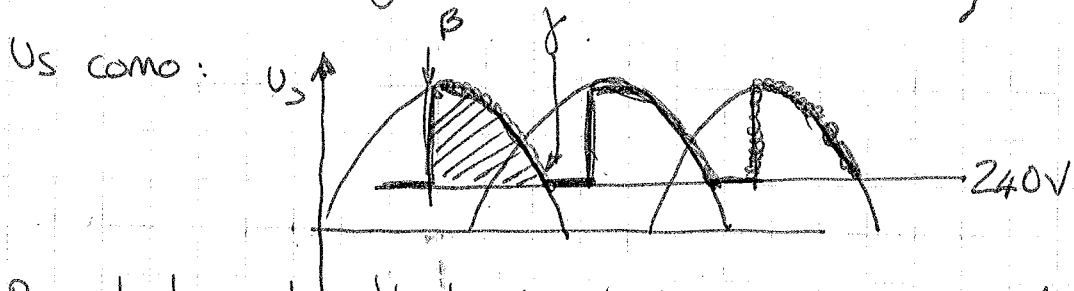
El rectificador de una tensión media:

$$U_{s,m} = \frac{n \cdot E_p}{\pi} \sin \frac{\pi}{\lambda} \cdot \cos \alpha = \frac{3 \cdot 460 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} \cdot \cos \alpha$$

$$U_{s,m} = 537,99 \cdot \cos \alpha. \quad \Rightarrow \quad \alpha = \arccos \frac{440}{537,99} = 35^\circ \quad \underline{\alpha = 35^\circ}$$

Esta solución valdría si el rectificador condujese en todo momento pero esto no será así pq no puede bajar de 240V

Como la tensión instantánea bajaría por debajo de 240V, el rectificador dejaría de conducir dando lugar a una U_s como:

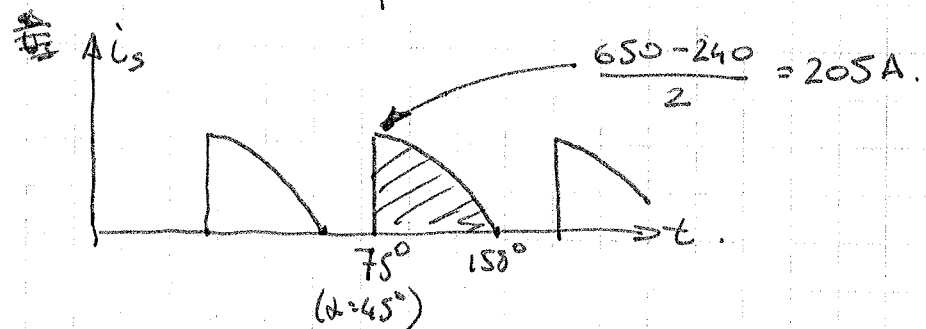


Por tanto, el cálculo de I debe hacerse a partir de la función U_s pero considerando los tramos de $U_s = U_{BAT}$.

$$I_{medio} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\beta}^{\gamma} \frac{E_p \cdot \sin(\omega t) - U_{BAT}}{R} d(\omega t) = 100 \text{ A.}$$

La incógnita es β ($\alpha = \beta - 30^\circ$) y $\gamma = \arccos \frac{240}{E_p} = 158'4^\circ$

Resolviendo la ecuación $\beta \approx 1,317 \text{ rad} = 75^\circ$ ($\alpha = 45^\circ$).



c)

* Cada diodo lleva una corriente media de 33,3A

$$\Rightarrow P = V_f \cdot I_m = 33,3 \text{ W. en cada uno}$$

* La corriente media por R es 100A, aunque su valor eficaz es mucho mayor al tener tramos de 0A.

* La potencia entregada a la batería es $P = U_{BAT} \cdot I_{medio} = 24000$

$$\eta \approx \frac{P_s}{P_s + P_R + P_D} = \frac{24000}{24000 + 2 \cdot 100^2 + 100} = 54\% \quad (\text{en realidad es menor por Iet en R})$$

d) para conseguir el menor tiempo posible, hasta con hacer $\alpha = 0$

$$\Rightarrow U_{S, \text{MEDIA}} = 537,99 \text{ V}$$

$$\Rightarrow I_M = \frac{U_{S, \text{M}} - U_{\text{BAT}}}{R} = \frac{538 - 240}{2} = 149 \text{ A}$$

$$t_{\text{carga}} = \frac{Q_{\text{cap}}}{I_M} = \frac{200 \text{ A} \cdot \text{h}}{149} = 1,324 \text{ h} \quad 1,34 \text{ h} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ h} \\ + \\ 20 \text{ min.} \end{array} \right.$$

$$P_{\text{diodos}} = 1 \text{ V} \cdot \frac{149}{3} = 49,6 \text{ W cada uno}$$

$$\eta \approx \frac{240 \cdot 149}{240 \cdot 149 + 2 \cdot 149^2 + 3 \cdot 49,6} \approx 44,5\%$$

e) Introducir una bobina de filtro alisa la corriente y tendría 2 efectos:

* Menores pérdidas en R al disminuir el valor eficaz de i .

* Se podría disparar con el α original ($\alpha = 35^\circ$) porque el rectificador conduciría todo el tiempo