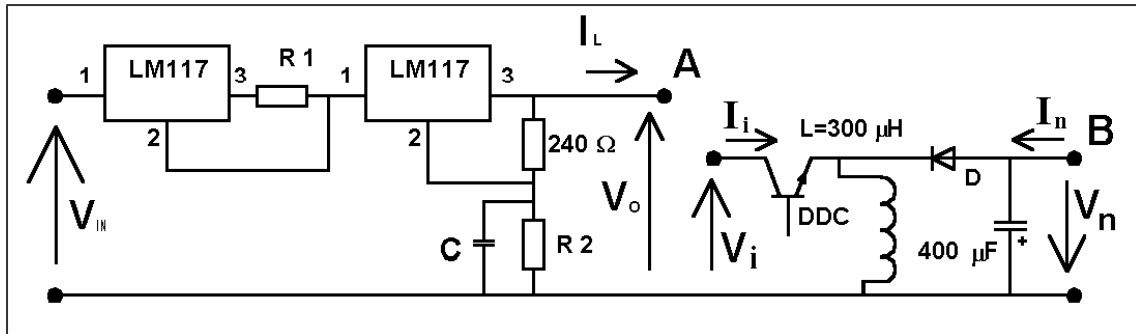


APELLIDOS

NOMBRE:

Parcial sobre Sistemas Analógicos de Alimentación

Con dos reguladores lineales de 3 terminales con salida fija de 1.2V se ha montado el regulador lineal que aparece en la Figura, donde $R1=2\Omega$ y $R2=1.56K\Omega$.



- 1- Explique cuál es la misión de cada CI LM117, cómo consigue realizarla y cómo se logra mediante el condensador C, que cuando se conecta la tensión de entrada V_{IN} bruscamente, la tensión de salida no sea bruscamente la tensión V_o , sino una tensión que se aproxima a ella gradualmente (característica de arranque suave o "soft start"). (10 p)
- 2- Calcule la tensión de salida V_o y la máxima corriente I_L sabiendo que el LM117 tiene una V_{drop} de unos 2V y una limitación interna de corriente de 2A. (5 p)
- 3- Considerando que la corriente que atraviesa la resistencia de 240Ω es la que va hacia R2 en paralelo con C, dibuje la evolución de $V_o(t)$ desde el momento en que se aplica V_{IN} , explicando sus valores inicial y final y la causa de esa evolución. Estime la constante de tiempo del sistema "soft start" para $C=100\mu F$. (10 p)
- 4- Obtenga la V_{IN} mínima necesaria para que el circuito pueda dar su corriente máxima I_L con su tensión de salida V_o . En estas condiciones obtenga la potencia disipada por cada LM117 y por la resistencia R1. (7 p)
- 5- Considerando que los CI LM117 no llevan disipador de calor adosado a su encapsulado TO220 cuya resistencia térmica Θ_{JA} es de $40^\circ C/W$, obtenga la temperatura de las uniones T_j dentro de cada CI en las condiciones del apartado anterior. (8 p)
- 6- Si la tensión V_{IN} se obtuviese mediante un rectificador de onda completa en puente conectado al secundario de $12V_{ef}$ de un transformador, ¿qué condensador sería necesario conectar en paralelo con la entrada V_{IN} para entregar a la carga una potencia $V_o \times I_L$? (10 p)

A la salida de la fuente anterior queremos conectar un regulador conmutado inversor de tensión para disponer de una fuente auxiliar de $-V_o$ referidos al raíl de masa. Esta fuente se ha diseñado para una corriente de salida de sólo 200 mA que se absorberán por el terminal B ($I_N=200mA$). La etapa de potencia del inversor sin su electrónica de control, aparece también en la Figura. Si no obtuvo V_o anteriormente, suponga ahora $V_o=10.5V$.

- 7- Considerando que las caídas de tensión en el diodo D y en el dispositivo de control (DDC) cuando conducen son de 0.3V, obtenga las formas de onda de la corriente $I_i(t)$ y de la corriente del diodo $I_D(t)$ sabiendo que la frecuencia de conmutación es de 50 KHz. (20 p)
- 8- Calcule el rendimiento del inversor con esta I_N . (10 p)
- 9- Con un condensador $C=400\mu F$ de muy baja ESR ($10^{-2}\Omega$) el rizado pico-pico de V_N era de unos pocos mV_{pp}. Pensando en reducir este rizado cambiamos C por otro condensador $C^*=1600\mu F$ reutilizado de otro circuito y observamos que el rizado aumentó a unos 55mV_{pp}. Dibuje la forma de onda de la corriente de esos condensadores y basándose en ello, obtenga la ESR del nuevo condensador. ¿Le sugiere esto alguna forma de medir la ESR de condensadores electrolíticos? Coméntela. (20 p)



Asignatura		Fecha	
Apellidos		Curso	
Nombre	— SOLUCION —	Grupo	
			Calificación

1) El LM117 asociado con R_1 será CI_1 y el otro LM117 será CI_2 . CI_2 es el regulador de tensión V_0 porque ~~tratará~~ tratará de que sobre la resistencia de 240Ω haya $1.2V$. Esto hará que V_0 sea proporcional a $1.2V$ al ser despreciable la corriente I_2 por la patilla 2 de CI_1 y CI_2 la corriente que fluirá por esa resistencia será (en dc y en régimen permanente) la siguiente: $I_{div} = 1.2V / 240\Omega = 5mA$ y también fluirá a través de R_2 por lo que la tensión V_0 será:

$$V_0 = I_{div}(R_2 + 240\Omega) = 5mA \times 1800\Omega = 9V \quad (V_0 = 1.2V \times \frac{240 + R_2}{240})$$

El regulador CI_2 se encargará de que esto sea así dando, además de I_{div} , la corriente I_L de salida que pida la carga (suponiendo que I_L no exceda las posibilidades de I_{CE} , cosa que no va ocurrir porque antes de que eso ocurra, CI_1 va a limitar la corriente I_1 que llega al terminal 1 de CI_2 , limitando por tanto $I_L \approx I_1$. CI_1 es el limitador de corriente I_1 y por tanto de I_L ya que $I_L \approx I_1$ al ser despreciable la corriente I_2 . Este CI_1 intentará que la tensión sobre R_1 sea de $1.2V$, dando la corriente que haga falta para ello. Si $I_L = 0 \Rightarrow I_1 \approx 0$ con lo que la tensión sobre R_1 es nula. CI_1 nota esto, pero no puede hacer nada para remediarlo: queda o está dispuesto a dar corriente hasta que $V_{R_1} = 1.2V$ pero no se la piden, por lo que la tensión de su patilla 3 aumentará hasta que su tensión entre patillas 1 y 3 se haga

algo inferior a su V_{drop} , momento en que su electrónica ⁽²⁾ interna ya no tratará o ya no podrá hacer que V_{R1} sea de $1'2V$, y ya no se "sentirá frustrado" como regulador que no pudo conseguir el objetivo para el que fue diseñado (hacer que $V_{R1} = 1'2V = V_{31}$ en CI2), porque al estar en estas condiciones ($V_{13} < V_{drop}$) tal regulador no existe o CI1 no funciona como tal.

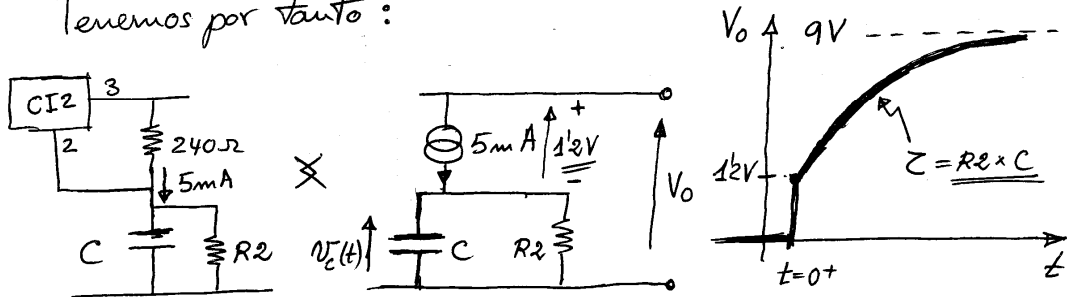
Sin embargo, en cuanto le pidan suficiente I_1 , puede llegar a cumplir su objetivo, "despertando" de su situación anterior. Así, en cuanto $I_1 \times R_1$ sea de $1'2V$, CI1 se dará cuenta de ello y no permitirá que fluya una mayor corriente I_1 para que su V_{31} no suba de $1'2V$, verdadero objetivo para el que fue diseñado CI1. De esta forma CI1 limita I_1 al valor $I_{1MAX} = 1'2V/R_1 = 600mA \Rightarrow I_{LMAX} = 0'6A$.

Para que esto ocurra, la tensión V_{13} de CI1 deberá ser mayor o igual que su V_{drop} a fin de que su electrónica interna pueda cumplir su objetivo, limitando de ese modo I_L a $600mA$. (NOTA: esto se usará en el Apdo. 4 [1]).

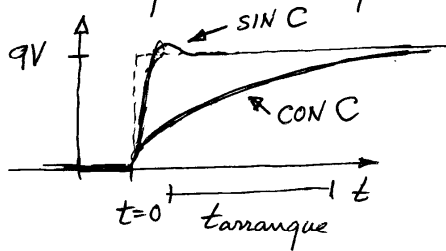
En cuanto a la característica de arranque suave, el condensador C juega el siguiente papel: hacer que el divisor de tensión de salida cambie con el tiempo durante el transitorio de arranque. Ello ocurre porque antes de conectar V_{IN} , C estará descargado. Nada más conectar V_{IN} en

$t=0^+$ el regulador CI2 dará los 5mA sobre la resistencia de 240 Ω para que su V_{32} sea de 1'2V y además dará cierta I_L si la carga lo pide y es inferior a I_{LMAX} . ③

Tenemos por tanto:



Como vemos, en $t=0^+$ la tensión de salida es de 1'2V y a partir de ese instante tiende a los 9V finales de forma exponencial a medida que C se va cargando. Así se logra ese arranque suave que necesitan algunas cargas delicada



Como $V_0 = 1'2V + V_C(t)$ para $t > 0^+$
 y $V_C(t) = 7'8V(1 - e^{-t/\tau})$,
 $\tau = R_2C$ puede diseñarse para que arranque sea de varios ms ó seg.

2) Ya ha sido contestado: $V_0 = 9V$, $I_{LMAX} = 0'6A$

3) Ya ha sido contestado casi en su totalidad. Falta: $\tau = 1'56k\Omega \times 100\mu F$
 $\tau = 156 \text{ ms}$

4) Se contestó algo de lo que aquí se pide en la NOTA [1] de la respuesta al Apdo 1. Según aquella nota el limitador basado en CI1 dando $I_{LMAX} = 600mA$ requería $V_{13} \geq V_{drop}$ y en R_1 caían los 1'2V que fija CI2. Por tanto, en estas

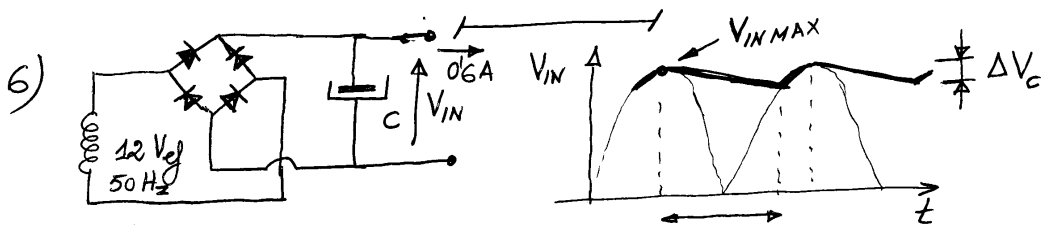
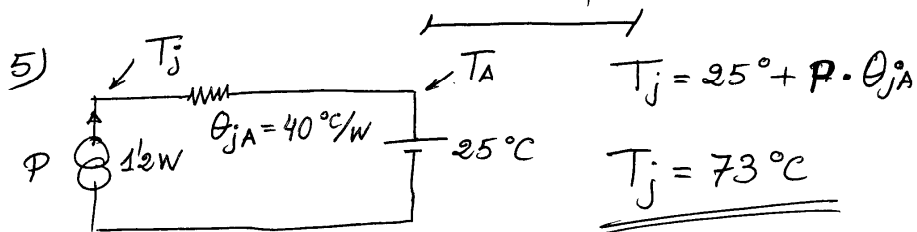
condiciones, la caída de tensión entre la patilla 1 de ⁽⁴⁾ CI1 y la patilla 1 de CI2 debe ser mayor o igual que $(V_{drop} + 1'2V) = 3'2V$.

Para respetar la V_{drop} de CI2, la caída entre sus patillas 1 y 3 no debe ser inferior a 2V. Por tanto, la caída de tensión entre la entrada V_{IN} o patilla 1 de CI1 y la salida V_o (punto A) debe ser mayor o igual que $3'2 + 2 = \underline{5'2V}$.

Como estamos dando $V_o = 9V \Rightarrow V_{IN\ MINIMA} = \underline{14'2V}$.

Con esta $V_{IN\ MINIMA}$ y en estas condiciones, cada LM117 tiene una caída $V_{13} = V_{drop} = 2V$ y una $I_1 = 600mA \Rightarrow$

$$P_{CI1} = 2V \times 0'6A = \underline{1'2W} = P_{CI2} \quad | \quad P_{R1} = I_1^2 \cdot R = \underline{0'72W}$$



$$V_{IN\ MAX} = V_{pico} - 2V_D = 12\sqrt{2} - 1'2 = \underline{15'77V} \quad t_{descarga} \approx T/2 = 10ms$$

Por tanto ΔV_c puede ser como máximo $15'77 - 14'2 = \underline{1'57V}$
 (microcoulombs)

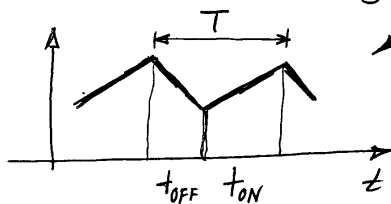
$$\Delta V_c = \frac{1}{C} \int_{T/2} 0'6A dt = \frac{1}{C} \cdot 6mC \Rightarrow C = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{1'57} = 3800 \mu F / 25V$$

(por seguridad)

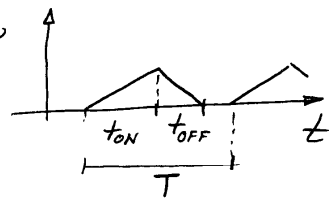
7) Durante t_{ON} la bobina se carga de energía con una tensión ($V_i - 0'3V$) que hace crecer linealmente su corriente de la forma: $\Delta I_L(t) = \frac{V_i - 0'3}{L} \cdot t \Rightarrow \Delta I_L \uparrow = \frac{9 - 0'3}{300 \mu H} \cdot t_{ON}$ (5)

Durante t_{OFF} la bobina se descarga o pierde energía luchando contra una tensión $(V_N + V_D) = (9 + 0'3)V$ por lo que su corriente decrece linealmente así: $\Delta I_L(t) = \frac{-(9 + 0'3)}{L} \cdot t \Rightarrow \Delta I_L \downarrow = \frac{9'3}{300 \mu H} \cdot t_{OFF}$

En régimen estacionario $\Delta I_L \uparrow = \Delta I_L \downarrow$ por lo que la corriente de la bobina será en general así:)



Aunque podríamos estar en modo discontinuo así:



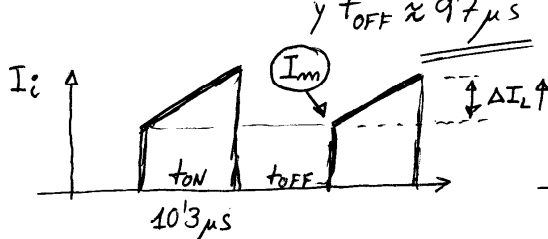
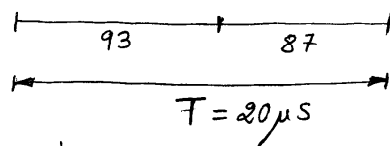
Supondremos la primera opción en la que $t_{ON} + t_{OFF} = T$.

Como $\Delta I_L \uparrow = \Delta I_L \downarrow$ tenemos:

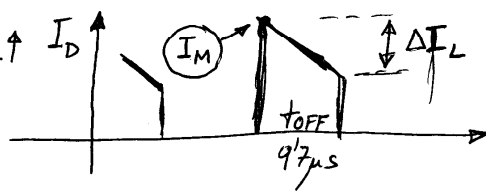
$$\frac{9 - 0'3}{300 \mu H} \cdot t_{ON} = \frac{9 + 0'3}{300 \mu H} \cdot t_{OFF} \Rightarrow \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = \frac{9'3}{8'7} = \frac{93}{87} \Rightarrow$$

$$t_{ON} = \frac{93}{93 + 87} \times 20 \mu s = 10'3 \mu s$$

$$\text{y } t_{OFF} \approx 9'7 \mu s$$



Por tanto:

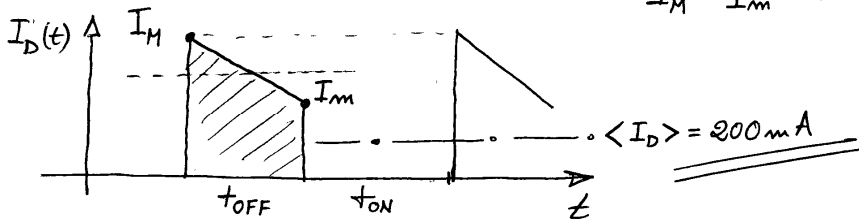


Falta determinar los valores ΔI_L , I_M e I_m . (6)

$$\Delta I_L = \frac{(9-0.3)V}{300 \mu H} \cdot 10^3 \mu s = \underline{\underline{300 mA}}$$

Por la estructura del circuito, el valor medio de $I_D(t)$ debe ser igual a la corriente $I_M = 200 mA$ absorbidos por el terminal B. Por tanto:

$$I_M - I_m = \Delta I_L = \underline{\underline{300 mA}}$$



El valor medio de $I_D(t)$ durante t_{OFF} es $\frac{I_M + I_m}{2} = \frac{\Delta I_L + 2I_m}{2}$

Luego el valor medio en el tiempo de la corriente $I_D(t)$ será:

$$\langle I_D(t) \rangle = \frac{t_{OFF}}{t_{ON} + t_{OFF}} \times \frac{\Delta I_L + 2I_m}{2} = 200 mA \Rightarrow I_m = \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{t_{OFF}} \cdot 200 mA - \frac{\Delta I_L}{2}$$

$$I_m = \frac{93 + 87}{87} \cdot 200 mA - 150 mA = \underline{\underline{264 mA}} \Rightarrow I_M = \underline{\underline{564 mA}}$$

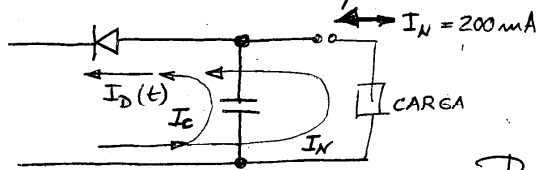
$$8) \quad \eta = \frac{P_L}{P_{IN}} = \frac{9V \times 200 mA}{9V \times \langle I_i \rangle} \left\{ \begin{array}{l} \text{El valor medio de } \langle I_i \rangle \text{ durante } t_{ON} \\ \text{es } \frac{I_M + I_m}{2} = 414 mA \text{ por lo que su} \\ \text{valor medio en el tiempo será:} \end{array} \right.$$

$$\langle I_i(t) \rangle = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \times 414 mA = \frac{93}{180} \times 414 = \underline{\underline{214 mA}} \Rightarrow$$

$$\eta = \frac{9V \times 200 mA}{9V \times 214 mA} = \underline{\underline{93.46 \%}}$$

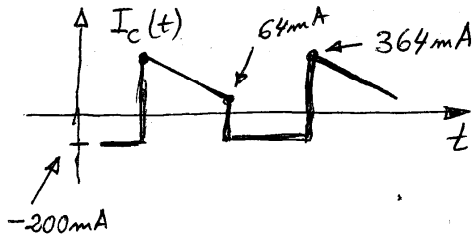
El circuito de salida que tenemos es:

(7)

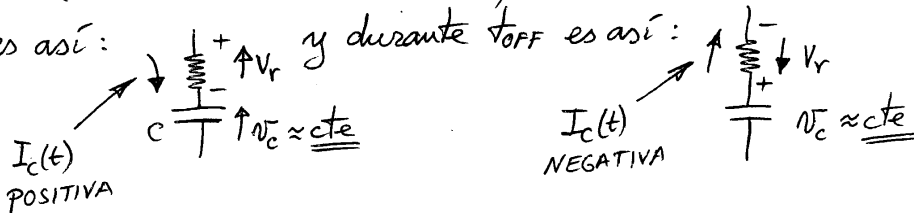


la corriente a través del condensador es: $I_C(t) = I_D(t) - I_N$

Por tanto tenemos esta corriente en el condensador donde vemos que su valor de pico es de 364 mA y su valor pico-pico es de 564 mA ($\approx 0.56 A$)



Con una ESR (electrical series resistance) de 10 mΩ en serie con el condensador es fácil intuir que el efecto debido a esa ESR será añadir un rizado de unos $10^{-2} \Omega \times 0.56 A = 5.6 mV_{pp}$ debido a que cuando absorbe corriente el condensador (durante t_{ON} esencialmente) la caída de tensión en la ESR es así:



Si con un condensador 4 veces mayor (que mantendrá 4 veces mejor la tensión V_C por tanto) vemos un rizado que es unas 10 veces mayor que el original de 56 mV_{pp}. es porque la ESR del nuevo condensador reutilizado es unas 10 veces mayor es decir de unos 0.1 Ω ó 100 mΩ.

Lo anterior sugiere una forma de medir las ESR de condensadores conectándolos como condensadores de salida en este circuito, cuya tensión de salida (rizado) mediremos con un analizador adecuado.