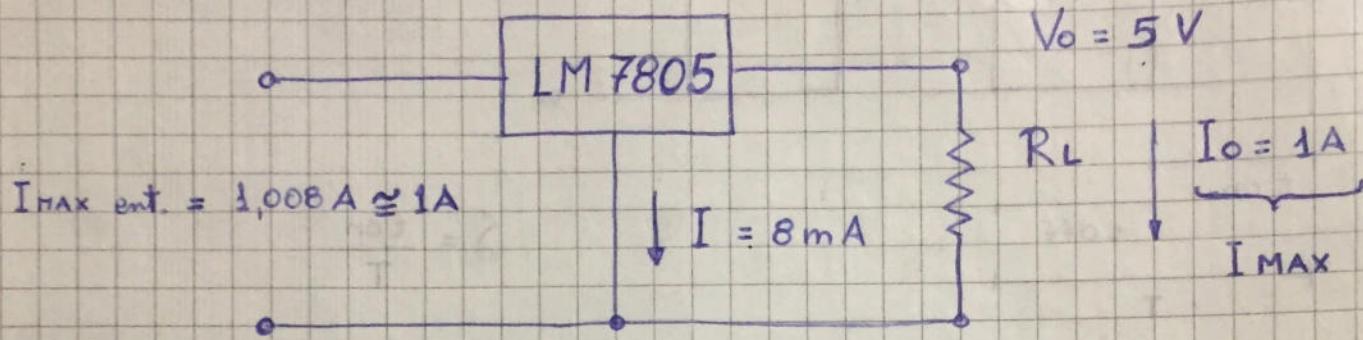


Regulador lineal.

$$V_{IN} \Rightarrow V_{min} = 7,5V \text{ a } 8V$$



$$P_{IN} = V_{IN} \cdot I_{IN} = 8V \cdot 1A = 8W$$

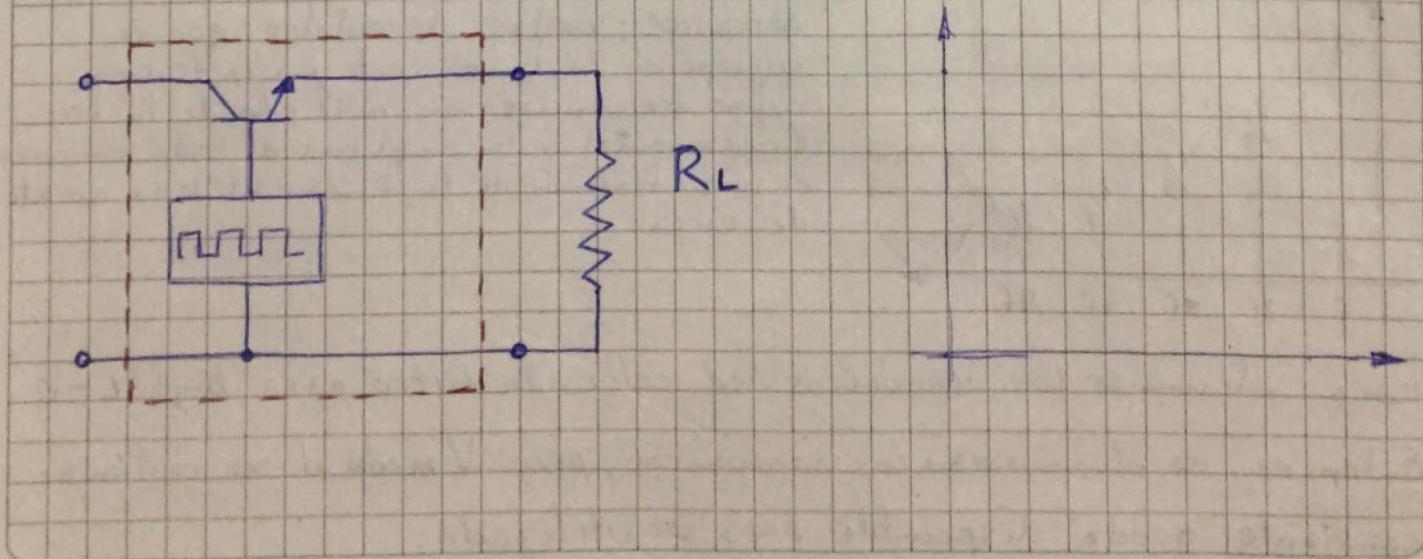
$$P_{OUT} = V_o \cdot I_o = 5V \cdot 1A = 5W$$

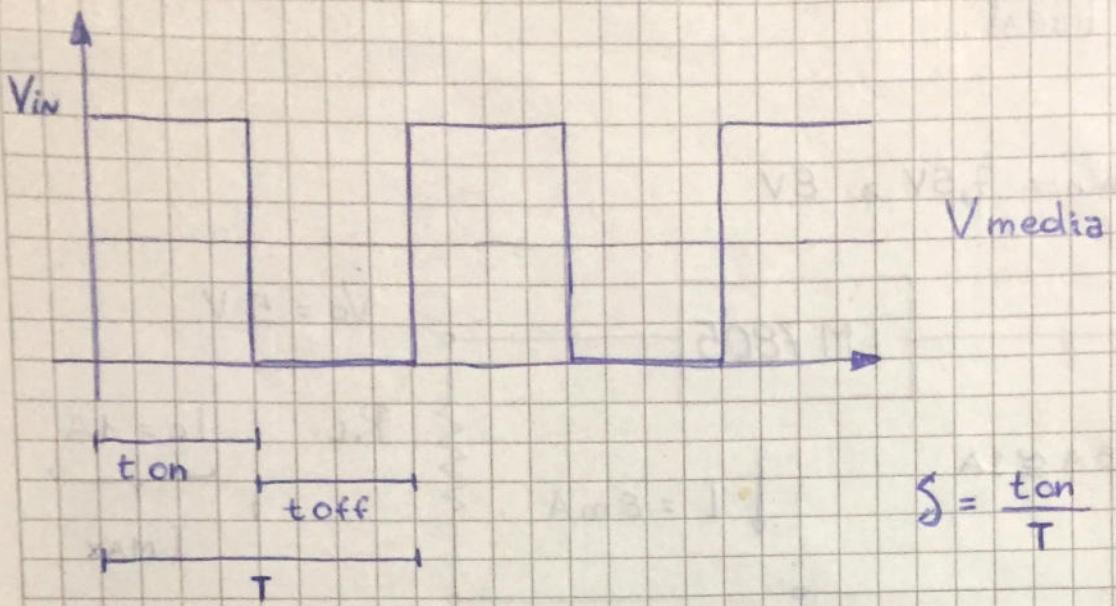
$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{5}{8} = 0,625 \Rightarrow 62\%$$

$$\begin{array}{c} 1 \xrightarrow{\hspace{1cm}} 100\% \\ 0,62 \xrightarrow{\hspace{1cm}} x \end{array}$$

EL ~~100%~~^{37,5} del rendimiento restante es utilizado para el funcionamiento del regulador ($V_{drop-out}$) Dropout voltage V_{DROP} indicada en el DATA SHEET.

REGULADOR CONMUTADO - PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.





t_{on} = transistor en saturación.

t_{off} = transistor en corte.

$$V_{media} \cdot T = V_{MAX} \cdot t_{on}$$

$$V_{media} = V_{MAX} \cdot \frac{t_{on}}{T}$$

Con el tiempo de encendido del ciclo activo varía el valor medio.

La onda cuadrada tiene armónicos.



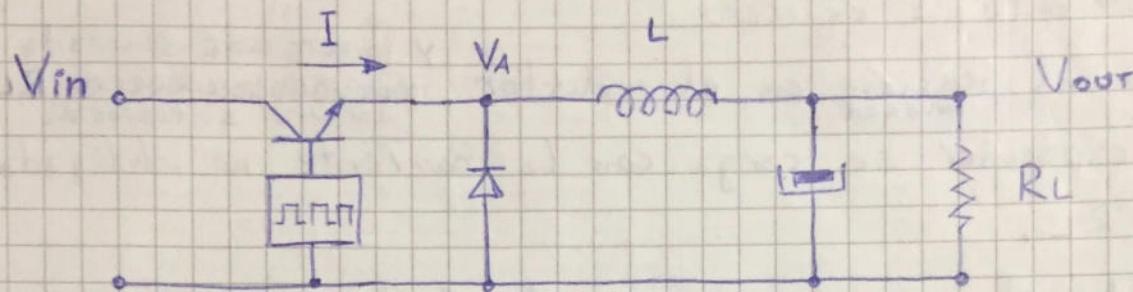
son

Armónicos: ondas senoidales que se superponen a la corriente y a la tensión cuyas frecuencias son múltiplos de la frec. fundamental y la amplitud de cada armónico es una fracción de la fundamental de la corriente de carga.

Para eliminar los armónicos se coloca un filtro pasa bajo L-C. Entonces, se eliminarán los armónicos, pero V_{medio} al ser continua constante queda disponible para ser utilizada.
Asamblea

2 * EL filtro deja pasar algunos armónicos que generan un ripple montado sobre el Vmedio.

Fuente Switching Reductora.



Ton del transistor (saturado)

$$o \quad V_{out} = V_{in}$$

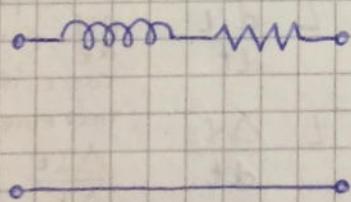
1. El diodo está en inversa (no influye)

2. La VL no se modifica ya que la corriente es constante.

3. El capacitor se carga.

[La VL que puede aparecer es por la caída en la resistencia del conductor (alambre arrollado de la bobina)]

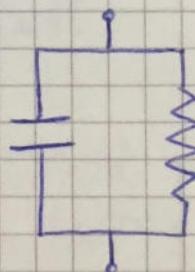
BOBINA



Las altas frecuencias
no pasan

$$X_L = 2\pi f L$$

CAPACITOR



Las altas frecuencias
se derivan a masa.

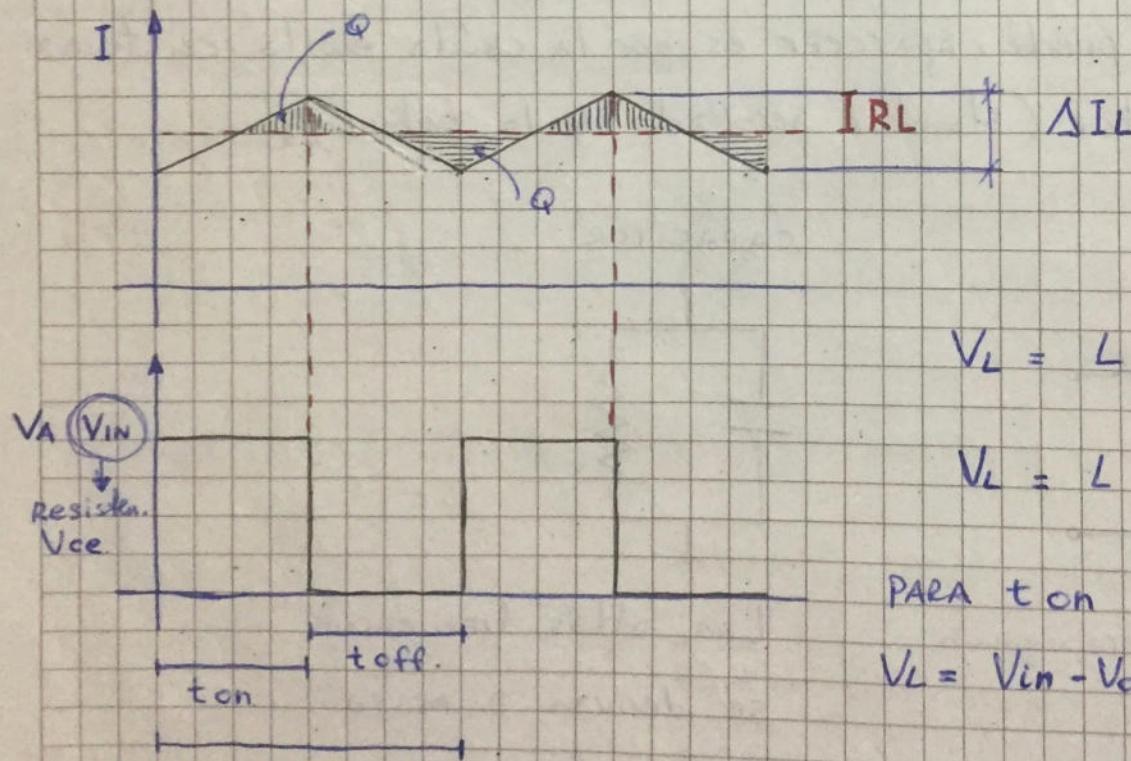
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

t_{off} del transistor (corte)

- a. La corriente I es cero.
- b. Aparece una tensión en el inductor ^{y la corriente generada} ~~que circula por el~~ ^{INVERSA} ~~circuito a través de~~
- c. y el capacitor se carga con la corriente no utilizada por la RL .
- d. Llegado el momento en que el inductor no puede suministrar la corriente necesaria (I_{RL}) el capacitor es el que entrega esa corriente

Si el filtro está bien calculado la corriente I_{RL} ~~debería~~ resulta ser constante y no debería caer a cero, aunque si va a ~~debería~~ tener un determinado ripple.

$$Q = I \cdot t$$



$$V_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

Se reemplaza $\frac{dI_L}{dt}$ por el cociente incremental $\frac{\Delta I_L}{\Delta t}$

$$V_L = L \frac{\Delta I_L}{\Delta t}$$

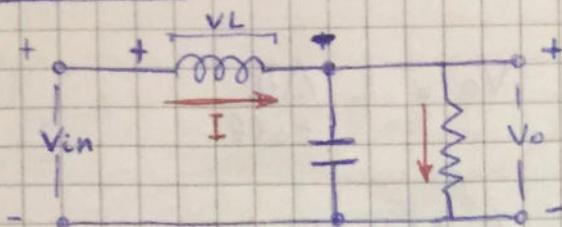
incremental $\frac{\Delta I_L}{\Delta t}$

PARA t_{on}

$$V_L = V_{in} - V_o = \frac{\Delta I_L}{t_{on}} \cdot L$$

PARA t_{off}

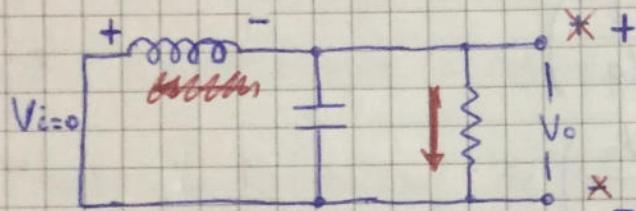
$$V_L = 0 - V_o = -\frac{\Delta I_L}{t_{off}} \cdot L$$

PARA t_{on} 

$$V_L = V_{in} - V_o$$

$$V_L = L \frac{\Delta I_L}{t_{on}}$$

$$V_{in} - V_o = L \frac{\Delta I_L}{t_{on}} \Rightarrow (V_{in} - V_o) \cdot t_{on} = L \cdot \Delta I_L$$

PARA t_{off} 

$$V_L = 0 - V_o$$

$$V_L = L \left(-\frac{\Delta I_L}{t_{off}} \right)$$

Negativo
por la pendiente
en bajada.

$$-V_o = -L \frac{\Delta I_L}{t_{off}} \Rightarrow V_o = L \frac{\Delta I_L}{t_{off}} \Rightarrow V_o \cdot t_{off} = L \cdot \Delta I_L$$

IGUALANDO TÉRMINOS.

$$(V_{in} - V_o) \cdot t_{on} = V_o \cdot t_{off}$$

$$V_{in} \cdot t_{on} - V_o \cdot t_{on} = V_o \cdot t_{off}$$

$$V_{in} \cdot t_{on} = V_o \cdot t_{on} + V_o \cdot t_{off}$$

$$V_{in} \cdot t_{on} = V_o \underbrace{(t_{on} + t_{off})}_{T} \Rightarrow V_o = V_{in} \frac{t_{on}}{T}$$

8

$$V_o = V_{in} \cdot \underline{\zeta}$$

Modificando el parámetro ζ podemos variar el valor medio de la corriente

Despeje de L

$$V_{in} - V_o = L \cdot \frac{\Delta I_L}{t_{on}}$$

$$V_o = L \cdot \frac{\Delta I_L}{t_{off}}$$

$$t_{on} = \frac{L \cdot \Delta I_L}{V_{in} - V_o}$$

$$t_{off} = \frac{L \cdot \Delta I_L}{V_o}$$

$$t_{on} + t_{off} = T = \frac{L \cdot \Delta I_L}{V_{in} - V_o} + \frac{L \cdot \Delta I_L}{V_o}$$

$$T = L \cdot \Delta I_L \left(\frac{1}{V_{in} - V_o} + \frac{1}{V_o} \right)$$

$$T = L \cdot \Delta I_L \cdot \left(\frac{V_o + V_{in} - V_o}{V_o (V_{in} - V_o)} \right)$$

$\frac{1}{f}$

$$T = L \cdot \Delta I_L \cdot \frac{V_{in}}{V_o \cdot V_{in} - V_o^2} \Rightarrow L = \frac{T}{\Delta I_L} \cdot \frac{(V_o \cdot V_{in} - V_o^2)}{V_{in}}$$

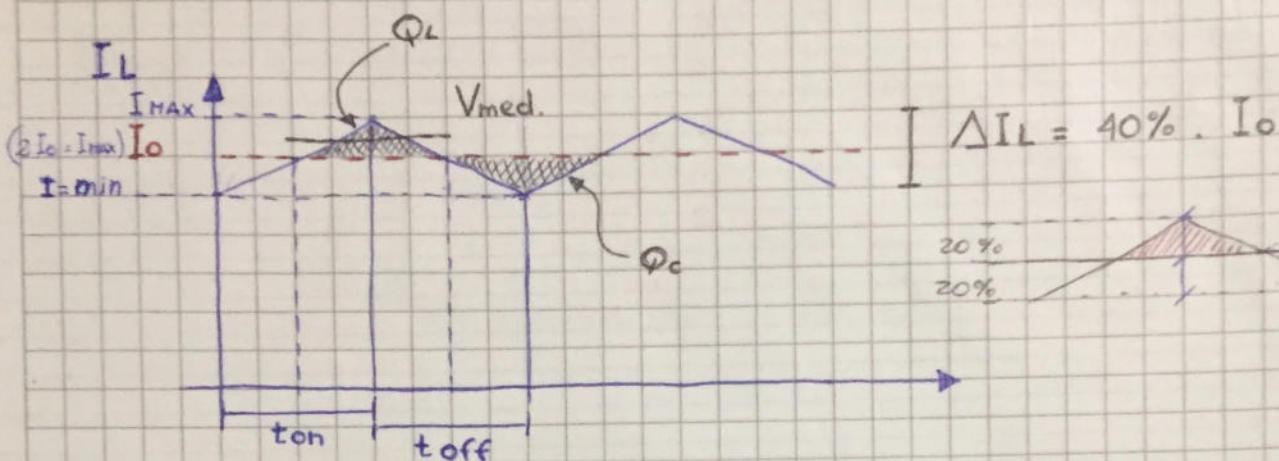
$$L = \frac{V_o \cdot V_{in} - V_o^2}{f \cdot \Delta I_L \cdot V_{in}}$$

$$1 \text{ Henrio} = \frac{1 \text{ Voltio} \times 1 \text{ segundo}}{1 \text{ Amperio}}$$

$$\Delta I_L = 0,4, I_o$$

4

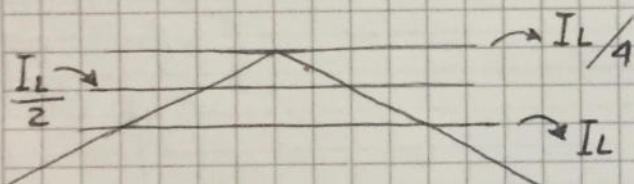
Cálculo del capacitor para una fuente conmutada.



Q_C : Se descarga el capacitor en la RL

Q_L : En este tiempo la bobina carga al capacitor con V_{media} .

V_{med} : Es la mitad de la altura



$$\Delta IL = IL_{MAX} - IL_{MIN}$$

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta IL}{8 Cf}$$

Parámetros de Diseño

5

Para la construcción del filtro deben considerarse

V_o = Voltaje de Salida.

V_{in} = Voltaje de Entrada.

ΔI_o = Según fabricantes de componentes $(40\% \text{ es el valor de } I_o)$
que se toma para
calcular L y C .

ΔV_o = RIPPLE

f = frecuencia de trabajo.

I_o = Depende de la carga.

$$L = \frac{V_o \cdot V_{in} - V_o^2}{f \cdot 0,4 \cdot I_o \cdot V_{in}}$$

$$C = \frac{0,4 \cdot I_o}{8 \cdot f \cdot \Delta V_o}$$

Rendimiento fuente switching

6

$$P_{out} = V_{out} \cdot I_{out}$$

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in} \cdot I_{in}} \Rightarrow \text{IDEALMENTE } \eta = 1$$

$$\frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in} \cdot I_{in}} = 1$$

$$V_{out} \cdot I_{out} = V_{in} \cdot I_{in} \Rightarrow \boxed{\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}}}$$

relación de transformación en transformadores

En la realidad existen pérdidas

$$P_{out} = V_{out} \cdot I_{out}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{perdidas}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{transistor} + P_{diodo}$$

$P_{perdidas} \rightarrow$ pérdidas de potencia en:

$P_{transistor} \rightarrow$ pérdidas en transistor.

$P_{diodo} \rightarrow$ pérdidas en diodo.

Pérdidas en el transistor

$$P_{transistor} = I_o \cdot V_{ce\ Sat} \cdot \frac{t_{on}}{T} \Rightarrow I_c \cdot V_{ce}$$

Pérdidas en el diodo

$$P_{diodo} = I_o \cdot V_d \cdot \frac{t_{off}}{T} \Rightarrow I_d \cdot V_d$$

$$\eta = \frac{V_o \cdot I_o}{V_i \cdot I_i} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_o \cdot I_o}{V_o \cdot I_o + V_{ce} \cdot I_o + V_d \cdot I_o} = \frac{V_o \cdot I_o}{I_o(V_o + V_{ce} + V_d)}$$

$$\eta = \frac{V_o}{V_o + V_{ce} \cdot \frac{t_{on}}{T} + V_d \cdot \frac{t_{off}}{T}}$$

Se puede tomar de ejemplo:

$$V_{ce\ sat.} = V_d = 1V$$

$$\eta = \frac{V_o}{(V_o + 1V \frac{t_{on}}{\tau} + 1V \frac{t_{off}}{\tau})} = \frac{V_o}{V_o + 1V (\frac{t_{on}}{\tau} + \frac{t_{off}}{\tau})}$$

$$\eta = \frac{V_o}{V_o + 1V} =$$

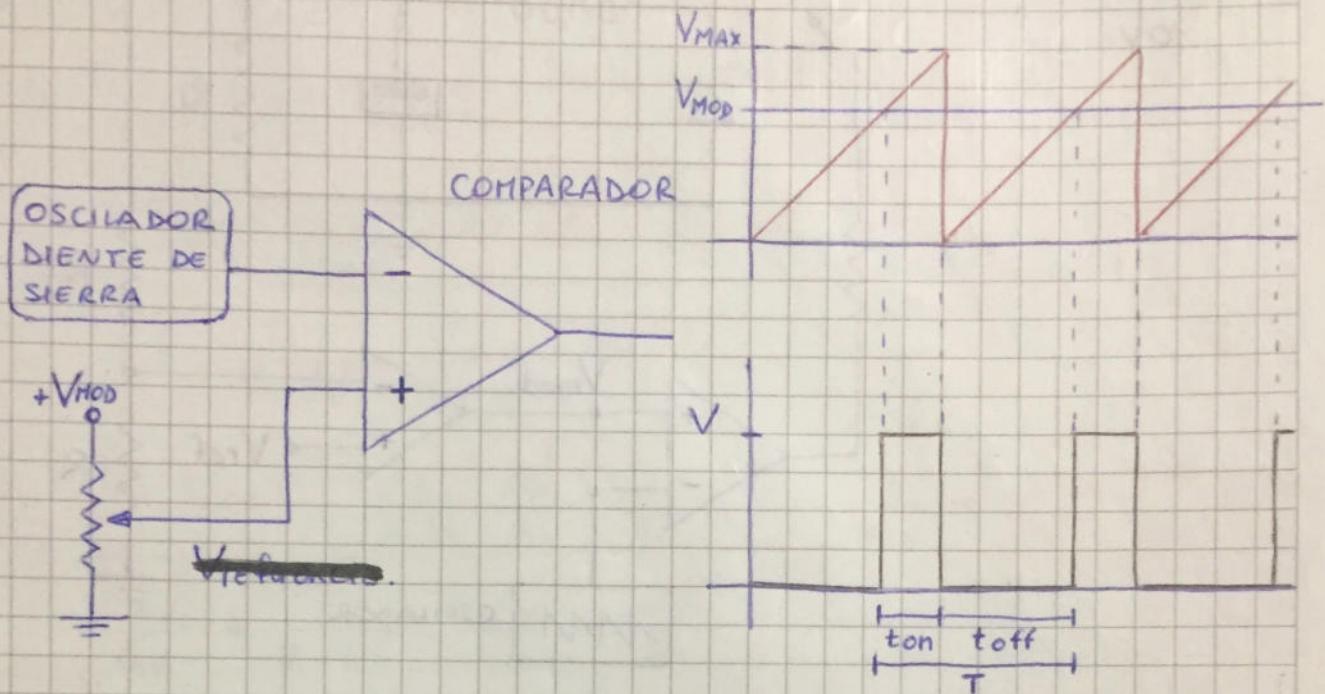
Si V_o es igual a 5V

$$\eta = \frac{5V}{5V + 1V} = \boxed{\frac{5}{6}} \Rightarrow \text{Rendimiento mayor que en los reguladores lineales}$$

83,3% contra 62,5%

16,6% pérdidas. 37,5% pérdidas

7 Modulador de Ancho de Pulso



Si aumenta V_{MOD} aumenta el ancho de pulso.

Variando la $V_{MODULANTE}$ varía δ , por lo tanto a través de un nivel de continuo logramos variar el ancho de pulso.

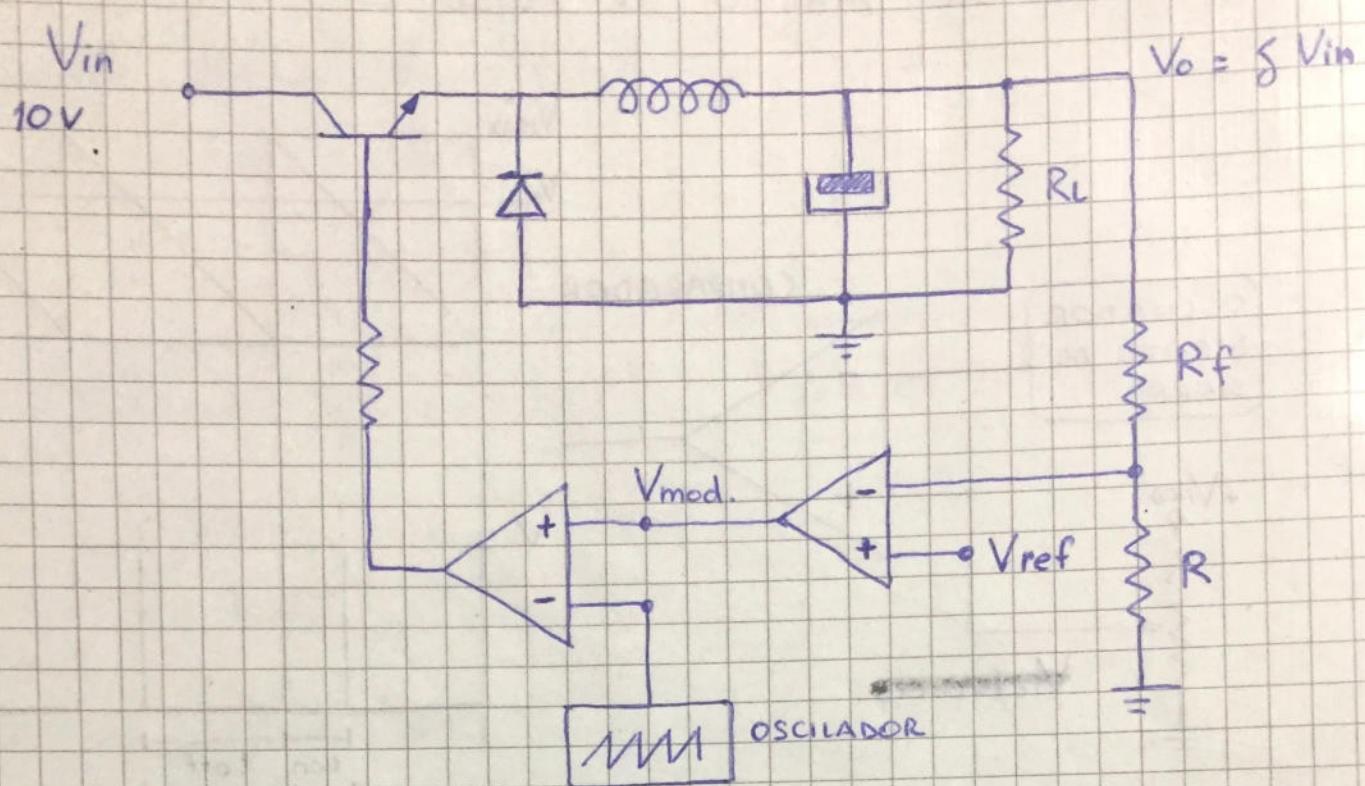
δ es directamente proporcional a la $V_{MODULANTE}$.

$$\frac{V_{MAX}}{T} = \frac{V_{MOD}}{t_{on}} \Rightarrow \frac{V_{MAX}}{T} \cdot t_{on} = V_{MOD} \Rightarrow \frac{t_{on}}{T} = \frac{V_{MOD}}{V_{MAX}} = \delta$$

El ciclo de trabajo para el PWM se encuentra en la siguiente ecuación: $V_{out} = V_{in} \cdot \delta \Rightarrow V_{mod} = V_{max} \cdot \delta$

$$\delta = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad \text{para } V_{in} = 12V \quad \text{y } V_{out} = 5V$$

$$\delta = \frac{5}{12} = 0,416 \approx 0,4 \Rightarrow 40\%$$



~~(V_{mod} = V₊ - V₋) . Av~~

Despeje de V_o

$$V_{mod} = (V^+ - V^-) \cdot Av$$

dende

$$\left\{ \begin{array}{l} V^+ = V_{ref} \\ V^- = V_o \cdot \frac{R}{R+R_f} \end{array} \right.$$

$$V_o = V_{in} \cdot g \Rightarrow g = \frac{V_{mod}}{V_{max}}$$

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{V_{mod}}{V_{max}}$$

$$V_o = \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot \left(V_{ref} - V_o \cdot \frac{R}{R+R_f} \right) \cdot Av$$

distributiva.

$$V_o = \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot Av \cdot V_{ref} - \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot Av \cdot V_o \frac{R}{R+R_f}$$

8.

$$V_o + V_o \cdot \frac{R}{R+R_f} \cdot \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot A_v = V_{ref} \cdot \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot A_v$$

$$V_o \left(1 + \frac{R}{R+R_f} \cdot \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot A_v \right) = V_{ref} \cdot \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot A_v$$

$$V_o = \frac{V_{ref} \cdot \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot A_v / A_v}{\left(1 + \frac{R}{R+R_f} \cdot \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot A_v \right) / A_v}$$

divido ambos miembros x A_v

$$V_o = \frac{V_{ref} \cdot \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot A_v}{cero \cdot \frac{1}{A_v} + \frac{R}{R+R_f} \cdot \frac{V_{in}}{V_{max}} \cdot \frac{A_v}{A_v}}$$

$$\frac{1}{A_v} = \frac{1}{\infty} = 0 \quad (\text{cero})$$

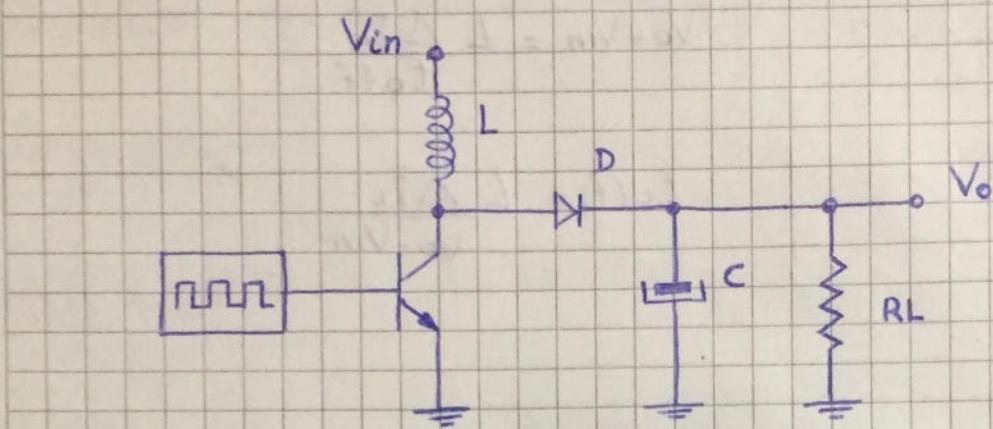
$$V_o = \frac{V_{ref}}{\frac{R}{R+R_f}}$$

$$V_o = V_{ref} \cdot \frac{R+R_f}{R}$$

$\frac{1}{B}$

FUENTE SWITCHING ELEVADORA

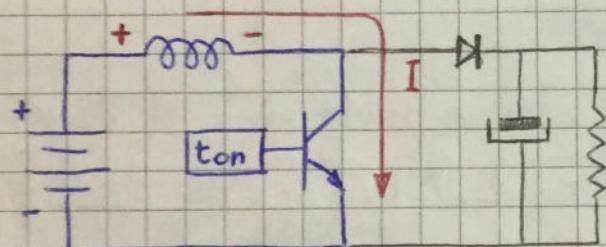
9



$$V_o > V_{in}$$

$$I_o < I_{in}$$

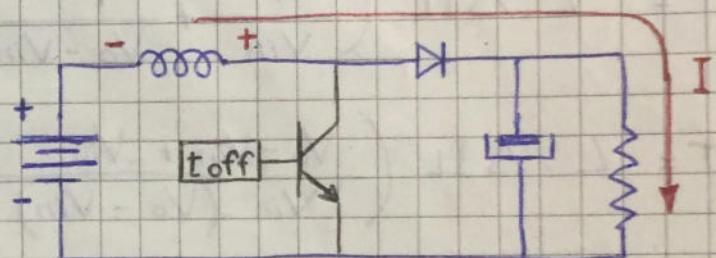
PARA t_{on} (TRANSISTOR SATURADO)



$$V_L = V_{in} = \frac{L \cdot \Delta I_L}{t_{on}}$$

$$L \cdot \Delta I_L = V_{in} \cdot t_{on}$$

PARA t_{off} (TRANSISTOR EN CORTE)



$$V_L = V_o - V_{in} = L \cdot \frac{\Delta I_L}{t_{off}}$$

$$L \cdot \Delta I_L = (V_o - V_{in}) \cdot t_{off}$$

$$V_{in} \cdot t_{on} = (V_o - V_{in}) \cdot t_{off}$$

$$V_{in} \cdot t_{on} = V_o \cdot t_{off} - V_{in} \cdot t_{off}$$

$$V_{in} \cdot t_{on} + V_{in} \cdot t_{off} = V_o \cdot t_{off}$$

$$\underbrace{V_{in} \cdot (t_{on} + t_{off})}_{T} = V_o \cdot t_{off}$$

$$V_{in} \cdot T = V_o \cdot t_{off}$$

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{T}{t_{off}}$$

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{T}{T - t_{on}} \cdot \frac{T}{T - t_{off}}$$

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{1}{1 - \frac{t_{on}}{T}} \quad \delta$$

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{1}{1 - \delta}$$

CÁLCULO DE L (INDUCTOR)

t_{on}

$$\frac{dI_L}{dt}$$

t_{off}

$$V_L = V_{in} = L \cdot \frac{\Delta I_L}{t_{on}}$$

$$V_o - V_{in} = L \cdot \frac{\Delta I_L}{t_{off}}$$

$$t_{on} = L \cdot \frac{\Delta I_L}{V_{in}}$$

$$t_{off} = L \cdot \frac{\Delta I_L}{V_o - V_{in}}$$

$$t_{on} + t_{off} = T$$

$$T = L \cdot \frac{\Delta I_L}{V_{in}} + L \cdot \frac{\Delta I_L}{V_o - V_{in}}$$

$$T = L \cdot \Delta I_L \left(\frac{1}{V_{in}} + \frac{1}{V_o - V_{in}} \right)$$

$$T = L \cdot \Delta I_L \left(\frac{V_o - V_{in} + V_{in}}{V_{in} \cdot (V_o - V_{in})} \right)$$

si no multiplico el denominador

$$T = L \cdot \Delta I_L \left(\frac{V_o}{V_{in} \cdot (V_o - V_{in})} \right)$$

$$T = L \cdot \Delta I_L \cdot \frac{V_o}{V_{in} \cdot V_o - V_{in}^2}$$

$$L = \frac{V_{in} (V_o - V_{in})}{\Delta I_L \cdot f}$$

DESPESO L

$$L = \frac{T}{\Delta I_L} \cdot \frac{V_{in} \cdot V_o - V_{in}^2}{V_o}$$

$$L = \frac{V_{in} \cdot \delta}{\Delta I_L \cdot f}$$

$$L = \frac{1}{f \cdot \Delta I_L} \cdot \frac{V_{in} \cdot V_o - V_{in}^2}{V_o}$$

$$\Delta I_L = 0,4 \cdot I_o \quad I_o \text{ es } I_{in} \text{ en } t_{on}$$

$$\Delta I_L = 0,4 \cdot I_{in} (1 - \delta)$$

$$L = \frac{1}{f \cdot 0,4 \cdot I_o} \cdot \frac{V_{in} \cdot V_o - V_{in}^2}{V_o}$$

$$L = \frac{V_{in} \cdot \delta}{0,4 I_o \cdot \frac{V_o \cdot f}{V_{in}}} =$$

$$L = \frac{V_{in}^2 \cdot (\frac{\delta}{f})}{\Delta I_L}$$

Asamblea

10

CÁLCULO DEL FILTRO PARA LA FUENTE ELEVADORA

$$P_o \approx P_{in} \Rightarrow I_o \cdot V_o \approx I_{in} \cdot V_{in}$$

$$I_{in} = \frac{I_o \cdot V_o}{V_{in}}$$

$$\eta = 1 = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_o \cdot I_o}{V_{in} \cdot I_{in}}$$

$$\Delta I_L = 40\% I_{in} = I_o \cdot 0,4 \cdot \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$L = \frac{1}{f \cdot 0,4 \cdot I_o \cdot \frac{V_o}{V_{in}}} \cdot \frac{V_{in} \cdot V_o - V_{in}^2}{V_o}$$

$\downarrow \Delta I_L$

$$L = \frac{1}{f \cdot 0,4 \cdot I_o \cdot V_o \cdot V_o} \cdot V_{in} (V_{in} \cdot V_o - V_{in}^2)$$

$$L = \frac{V_{in}^2 \cdot V_o - V_{in}^3}{f \cdot 0,4 \cdot I_o \cdot V_o^2}$$

CÁLCULO DE C

$$i_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt} \Rightarrow \text{La tensión es Lineal, entonces:}$$

$$I_c = C \cdot \frac{\Delta V_c}{\Delta t} \Rightarrow I_o = C \cdot \frac{\Delta V_o}{t_{on}}$$

$$\Delta V_c = \Delta V_o = \text{RIPPLE}$$

$$C = \frac{I_o \cdot t_{on}}{\Delta V_o} \Rightarrow \text{esta fórmula es correcta, pero } t_{on} \text{ no es un parámetro para el diseño del filtro.}$$

entonces se busca la relación entre t_{on} y V_o y V_{in} para que quede en función de las tensiones.

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{T}{t_{off}} = V_{in} \cdot \frac{T}{T - t_{on}}$$

$$V_o (T - t_{on}) = V_{in} \cdot T$$

$$V_o \cdot T - V_o \cdot t_{on} = V_{in} \cdot T$$

$$V_o \cdot T - V_{in} \cdot T = V_o \cdot t_{on}$$

$$T \cdot (V_o - V_{in}) = V_o \cdot t_{on}$$

$$\frac{T \cdot (V_o - V_{in})}{V_o} = t_{on} \Rightarrow t_{on} = T \cdot \left(\frac{V_o}{V_o} - \frac{V_{in}}{V_o} \right)$$

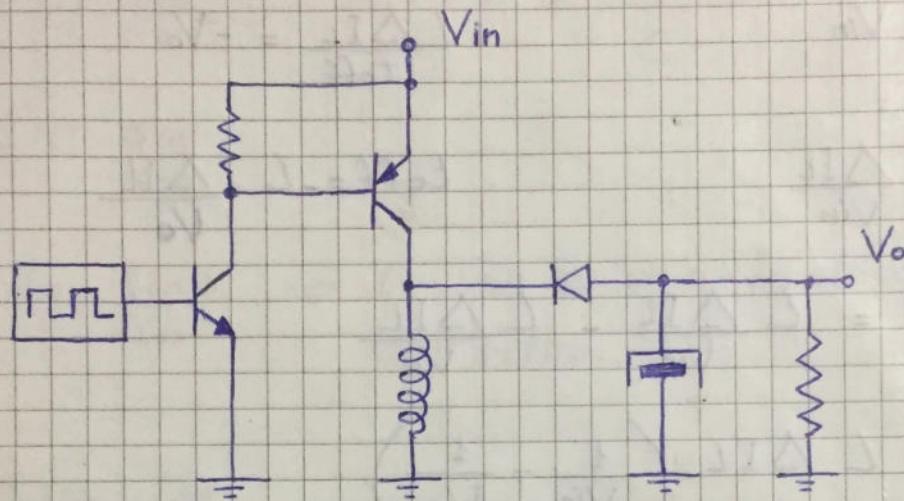
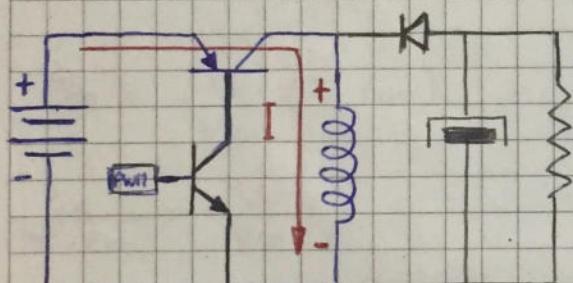
$$t_{on} = \frac{1}{f} \cdot \left(1 - \frac{V_{in}}{V_o} \right) \quad \text{entonces reemplazo :}$$

$$C = \frac{I_o \cdot t_{on}}{\Delta V_o} \Rightarrow C = \boxed{C = \frac{I_o \cdot \left(1 - \frac{V_{in}}{V_o} \right)}{f \cdot \Delta V_o}}$$

$$\delta = \frac{t_{on}}{T} = \left(1 - \frac{V_{in}}{V_o} \right)$$

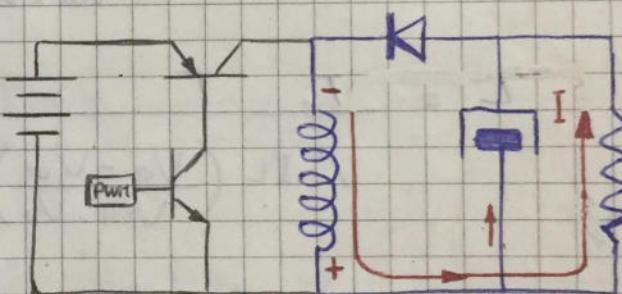
11

FUENTE CONMUTADA INVERSORA

PARA t_{on} 

$$V_L = V_{in} = L \cdot \frac{\Delta IL}{t_{on}}$$

$$V_{in} \cdot t_{on} = L \cdot \Delta IL$$

PARA t_{off} 

$$V_L = -V_o = L \cdot \frac{\Delta IL}{t_{off}}$$

$$-V_o \cdot t_{off} = L \cdot \Delta IL$$

$$V_{in} \cdot t_{on} = -V_o \cdot t_{off}$$

$$V_o = -V_{in} \cdot \frac{t_{on}}{t_{off}}$$

$$V_o = -V_{in} \cdot \frac{t_{on}}{t_{off}}$$

$$V_o = -V_{in} \cdot \frac{t_{on}}{T - t_{on}}$$

$$V_o = -V_{in} \cdot \frac{\frac{t_{on}}{T}}{\frac{T - t_{on}}{T}}$$

$$V_o = -V_{in} \cdot \frac{s}{1-s}$$

CALCULO DE L

$$L \cdot \frac{\Delta IL}{t_{on}} = V_{in}$$

$$L \cdot \frac{\Delta IL}{t_{off}} = -V_o$$

$$t_{on} = L \cdot \frac{\Delta IL}{V_{in}}$$

$$t_{off} = -L \cdot \frac{\Delta IL}{V_o}$$

$$t_{on} + t_{off} = L \frac{\Delta IL}{V_{in}} - L \frac{\Delta IL}{V_o}$$

$$T = L \cdot \Delta IL \cdot \left(\frac{1}{V_{in}} - \frac{1}{V_o} \right)$$

$$T = L \cdot \Delta IL \cdot \left(\frac{V_o - V_{in}}{V_{in} \cdot V_o} \right)$$

$$L = \frac{T}{\Delta IL \left(\frac{V_o - V_{in}}{V_{in} \cdot V_o} \right)}$$

$$L = \frac{V_{in} \cdot V_o}{f \cdot \Delta IL (V_o - V_{in})}$$

$$L = \frac{V_{in} \cdot V_o}{f \cdot 0,4 \cdot I_o \frac{V_o}{V_{in}} \cdot (V_o - V_{in})} = \frac{V_{in} \cdot V_{in} \cdot V_o}{f \cdot 0,4 \cdot I_o V_o (V_o - V_{in})}$$

$$L = \frac{V_{in}^2 \cdot V_o}{f \cdot 0,4 \cdot I_o (V_o^2 - V_o \cdot V_{in})}$$

Cálculo de C

12

$$i_c = C \cdot \frac{\Delta V_c}{\Delta t}$$

$$\Delta V_o = \frac{\delta \cdot T \cdot I_c}{C}$$

$$I_o = C \cdot \frac{\Delta V_o}{t_{on}}$$

$$C = I_o \cdot \frac{t_{on}}{\Delta V_o} \Rightarrow t_{on} \text{ no es un parámetro de diseño del filtro.}$$

$$V_o = -V_{in} \cdot \frac{t_{on}}{t_{off}}$$

$$T = t_{on} + t_{off} \Rightarrow t_{off} = T - t_{on}$$

$$t_{on} = -\frac{V_o}{V_{in}} \cdot t_{off}$$

reemplazo t_{off} por $T - t_{on}$

$$t_{on} = -\frac{V_o}{V_{in}} \cdot (T - t_{on})$$

$$t_{on} = \frac{T}{1 - \frac{V_{in}}{V_o}}$$

$$\frac{t_{on}}{T - t_{on}} = -\frac{V_o}{V_{in}}$$

$$V_{in} \cdot t_{on} = -V_o \cdot (T - t_{on})$$

$$-\frac{V_{in}}{V_o} = \frac{T - t_{on}}{t_{on}}$$

$$-\frac{V_{in}}{V_o} = \frac{T}{t_{on}} - \frac{t_{on}}{t_{on}}$$

$$-\frac{V_{in}}{V_o} = \frac{T}{t_{on}} - 1$$

$$-\frac{V_{in} + 1}{V_o} = \frac{T}{t_{on}}$$

$$t_{on} = \frac{T}{-\frac{V_{in}}{V_o} + 1}$$

$$C = \frac{I_o}{\Delta V_o} \cdot t_{on} \Rightarrow C = \frac{I_o}{\Delta V_o} \cdot \frac{T}{1 - \frac{V_{in}}{V_o}}$$

$$C = \frac{I_o}{\Delta V_o} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{in}}{V_o}}$$

δ ciclo de trabajo

$$C = \frac{I_o \cdot V_o}{f \cdot \Delta V_o \cdot (V_o - V_{in})}$$

$$C = \frac{V_o}{\Delta V_o} \cdot \frac{\delta}{f \cdot R}$$