



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE INGENIERÍA

1^{er} Cuatrimestre 2019

DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS (86.10)

Actividad 2

TEMA: Fuentes Conmutadas

FECHA: 8 de mayo de 2020

GRUPO 4 - INTEGRANTES:

Apellido y Nombre	Padrón	Correo Electrónico
Galli, Joaquin	99793	jgalli@fi.uba.ar
Pereyra, Matias Nicolas	99362	mnpereyra@fi.uba.ar
Pistillo, Carolina Rocío	99177	cpistillo@fi.uba.ar
Scharn, Ignacio	98399	ischarn@fi.uba.ar

Resumen

El objetivo de esta actividad fue estudiar tanto analíticamente como por simulación el comportamiento de un circuito que implementa fuentes conmutadas. Se deseó en particular determinar la tensión sobre el capacitor a la salida en régimen permanente. Finalmente se compararon los resultados obtenidos mediante ambos métodos.

1. Circuito propuesto

Para el circuito de la Figura 1 se desea determinar la tensión sobre el capacitor C_1 en régimen permanente. Se considerarán C_1 y L_1 inicialmente descargados y se despreciarán las caídas de tensión en R_1 a R_5 y en R_{DS} .

Es interesante notar también que la corriente promedio en el inductor durante su energizado disminuirá a medida que crece la tensión en el capacitor C_1 debido a que la tensión efectiva aplicada al inductor (durante su energizado) siempre será $V_1 - VC_1$. También disminuirá el tiempo de descarga de la energía del inductor a medida que va aumentando la tensión VC_1 en el capacitor por lo que el circuito comienza operando en modo continuo y gradualmente va pasando al modo discontinuo.

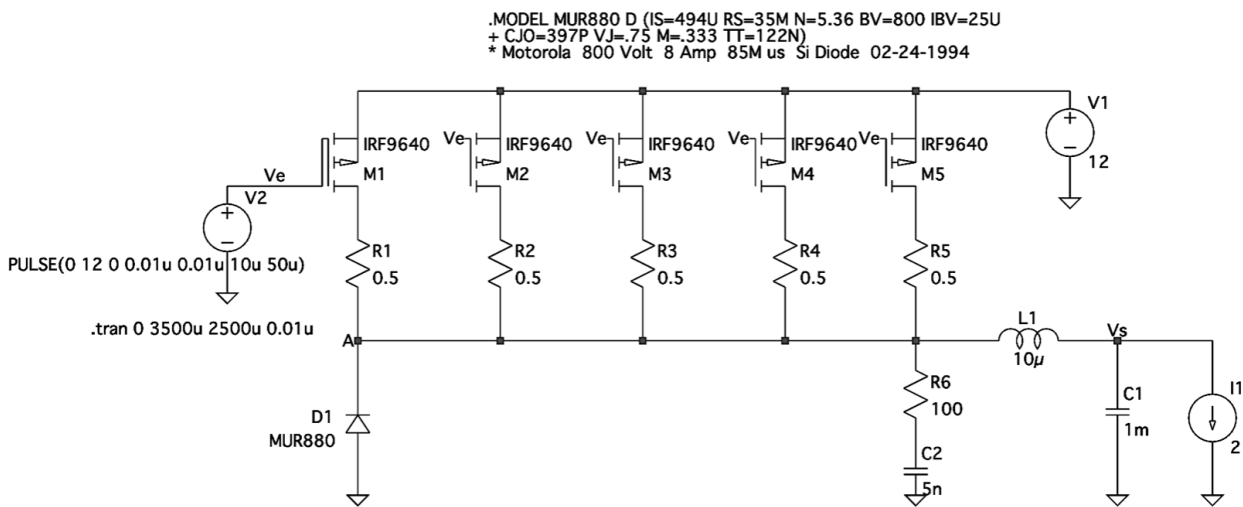


Figura 1: Simulación del circuito propuesto de fuentes conmutadas realizado en LTSpice

Para la corriente sobre el diodo D_1 se tendrá en cuenta la Figura 2 que muestra dicho valor en función de la tensión para el modelo MUR880.

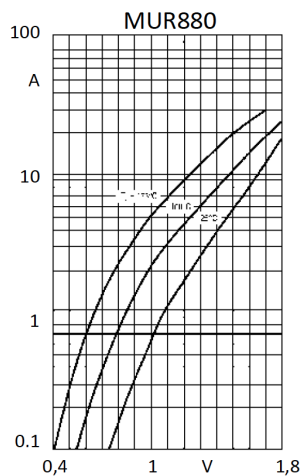


Figura 2: Curva I-V para el modelo de diodo MUR880

2. Análisis circuital

A continuación se procederá a analizar el circuito durante los dos estados de conmutación posibles del mismo.

Llave 1 cerrada y llave 2 abierta

Cuando la tensión del generador esta en 0 V, la tensión V_{GS} de los P-MOSFET será de -12 V. Esto los coloca en saturación y hace que se comporten como llaves cerradas, permitiendo el paso de los 12 V al nodo de Drain. Despreciando las caídas de tensión de R1 a R5 podemos suponer que en el nodo A habrá también 12 V. Esto deja al diodo $D1$ en inversa y por lo tanto no conduciendo en la primera parte del ciclo.

La corriente en la inductancia $L1$ comienza a elevarse cargando al inductor durante la primer parte del ciclo, llegando a un valor $I_{L_{max}}$. Como se sabe que el circuito termina operando en modo discontinuo, la corriente mínima en el inductor será $I_{L_{min}} = 0A$. El capacitor $C1 = 1mF$ tiene un valor que hará que tarde en cargarse y no permita que se lleve corriente. Puede considerarse de esta forma una corriente promedio sobre el inductor igual al valor de la fuente de corriente de 2 A.

Cuando la llave 1 esta cerrada y la llave 2 (diodo) abierta, se llega a la siguiente ecuación sobre la corriente en el inductor:

$$I_{L_{max}} = I_{L_{min}} + \frac{(V_E - V_S)\Delta t_1}{L} \quad (1)$$

Llave 2 cerrada y llave 1 abierta

Cuando la tensión del generador alcanza los 12 V, la tensión V_{GS} de los P-MOSFET pasa a ser 0 V, colocándolos en corte y haciendo que se comporten como llaves abiertas. Esto hace que ya no llegue tensión de entrada al nodo A, pero la inductancia sigue teniendo corriente. Como el diodo $D1$ estaba abierto, el nodo A queda puesto a una impedancia infinita y aparece una tensión en ese nodo que tendería a ir a $-\infty$ pero al alcanzar el valor $-V_D$ pone al diodo en directa y se fija en ese valor. Este valor V_D con el que se enciende el diodo se corresponderá en el gráfico de la Figura... a un valor de corriente promedio de 2A. Se tendrá entonces que V_D es aproximadamente 1,1 V.

El diodo se comportará entonces como una llave que se dispara sola en la segunda parte del ciclo y la inductancia comenzará a descargarse a tensión constante. Cuando la llave 1 esta abierta y la llave 2 (diodo) esta cerrada, se llega a la siguiente ecuación sobre la corriente en el inductor:

$$I_{L_{min}} = I_{L_{max}} - \frac{V_S\Delta t_2}{L} \quad (2)$$

El valor promedio de la corriente en el inductor está definido por la integral:

$$\bar{I} = \int_0^T i(t)dt$$

Dado que el inductor se carga a tensión constante, su corriente tendrá una forma triangular cuyo área bajo la curva puede calcularse fácilmente y la formula anterior se traduce a:

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \frac{Area}{T} \\ \bar{I} &= \frac{I_{L_{max}}}{T} \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} \\ I_{L_{max}} &= \frac{2 \cdot \bar{I} \cdot T}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \end{aligned} \quad (3)$$

Tomando la Ecuación (2) y teniendo en cuenta que para el caso discontinuo $I_{L_{min}} = 0A$, se tiene que:

$$I_{L_{max}} = \frac{V_S \Delta t_2}{L} \quad (4)$$

Esta última ecuación puede expresarse en términos de V_E si se recuerda que $V_S = V_E \frac{\Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$:

$$I_{L_{max}} = \frac{V_E \cdot \Delta t_1 \Delta t_2}{L \cdot (\Delta t_1 + \Delta t_2)} \quad (5)$$

Igualando las expresiones de las Ecuaciones (3) y (5) se llega a:

$$4A \cdot T = \frac{V_E \cdot \Delta t_1 \cdot \Delta t_2}{L}$$

Como los parámetros T , V_E y L son de valores conocidos, se despeja en función de los mismos y se obtiene que:

$$\Delta t_2 = \frac{2 \cdot \bar{I} \cdot T \cdot L}{V_E \cdot \Delta t_1}$$

Reemplazando este valor obtenido en (3):

$$I_{L_{max}} = \frac{2 \cdot \bar{I} \cdot T}{\Delta t_1 + \frac{4A \cdot T \cdot L}{V_E \cdot \Delta t_1}}$$

$$I_{L_{max}} = \frac{2 \cdot \bar{I} \cdot T}{\Delta t_1 (1 + \frac{4A \cdot T \cdot L}{V_E})} \quad (6)$$

Finalmente, igualando (6) y (1) se logra despejar el valor de V_S en función de Δt_1 :

$$V_S = \frac{-1}{\Delta t_1^2 (\frac{1}{2 \cdot \bar{I} \cdot T \cdot L} + \frac{1}{V_E})} + V_E$$

Reemplazando por los valores conocidos se tiene que:

$$V_S = \frac{-1}{\Delta t_1^2 \cdot 500MV^{-1}} + 12V \quad (7)$$

3. Simulación

En esta sección se presentan algunos resultados obtenidos por medio de la simulación del circuito de la Figura 1 mediante la herramienta LTspice.

En los siguientes gráficos se observa que el circuito se encuentra en modo discontinuo y de los puntos marcados pueden deducirse los valores del tiempo de carga Δt_1 , el tiempo de descarga Δt_2 y el periodo T de la corriente en el inductor.

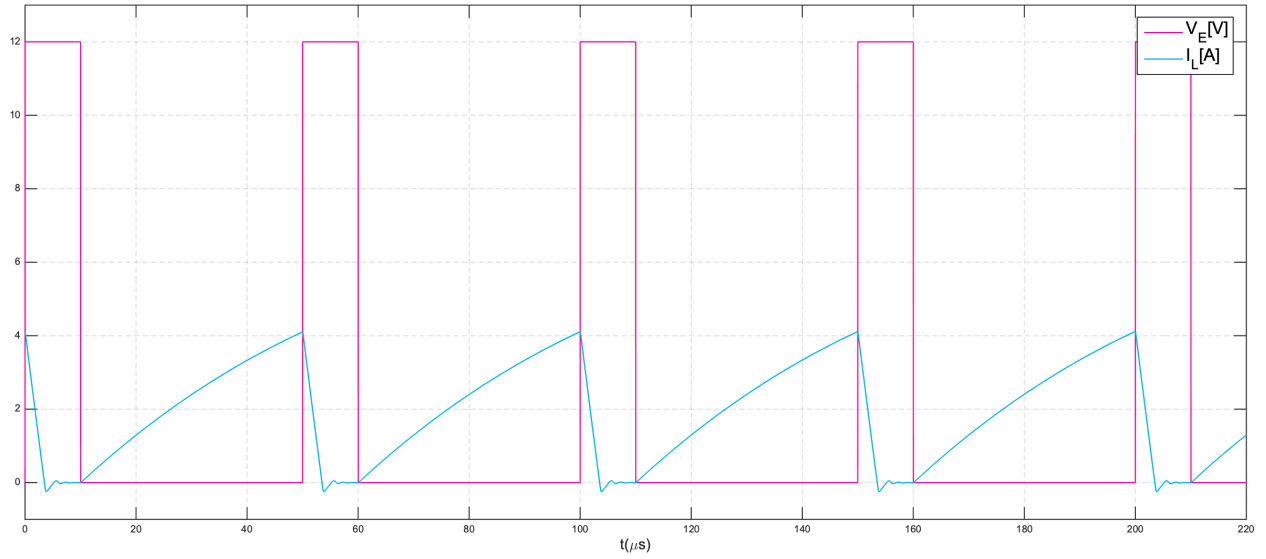


Figura 3: Corriente en el inductor en régimen permanente para la tensión cuadrada a la entrada de 12 V pico y con un Duty Cycle del 20 %

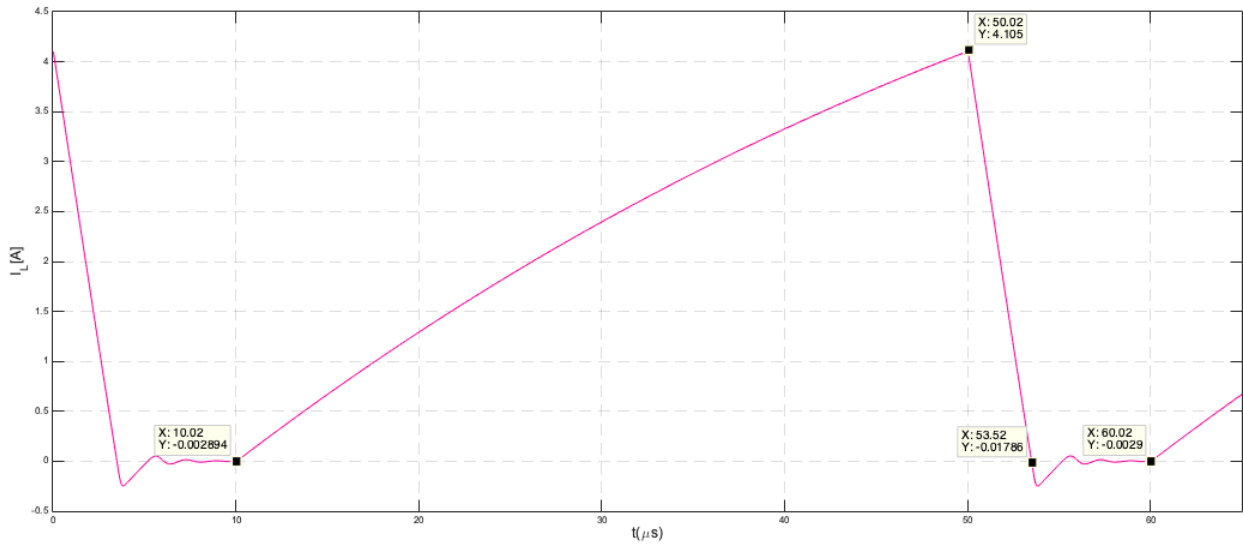
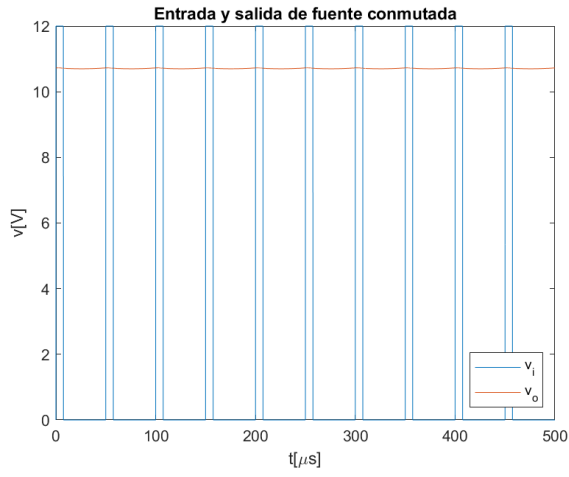
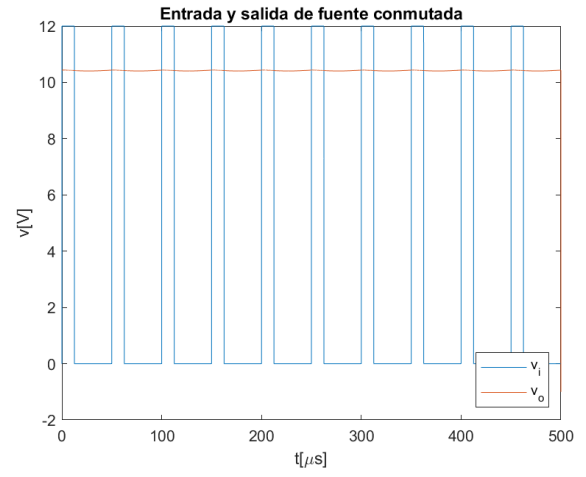


Figura 4: Corriente del inductor para la misma entrada, con puntos de interes que reflejan un $\Delta t_1 = 40\mu s$, $\Delta t_2 = 3,5\mu s$ y $T = 50\mu s$

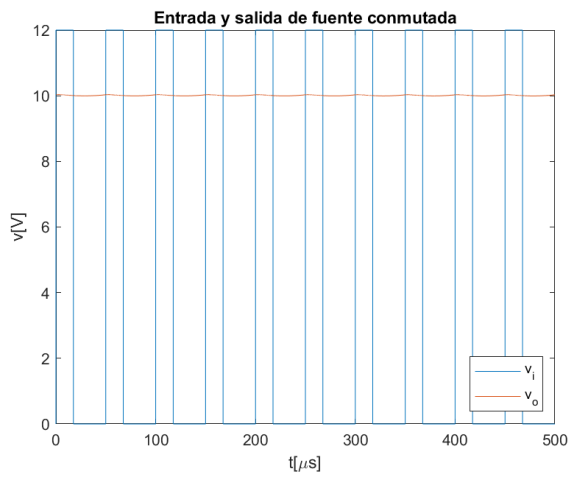
Se procedió a realizar la simulación del circuito para distintos valores de Duty Cycle de la señal de entrada. A continuación se presentan los gráficos obtenidos para cada caso.



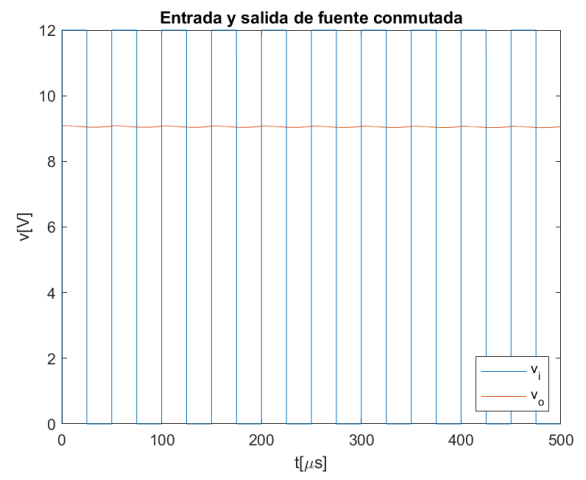
(a) Duty cycle $D=15\%$



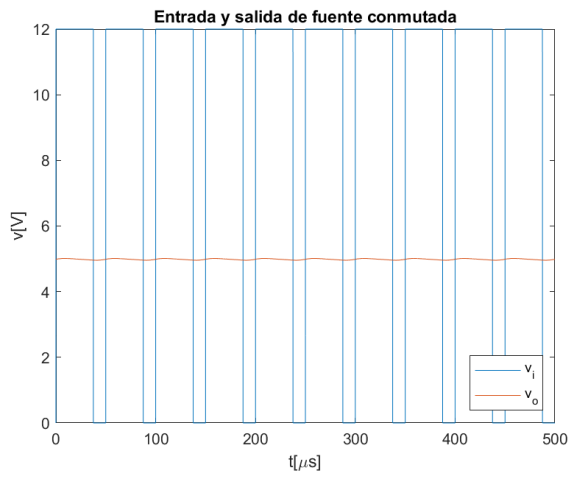
(b) Duty cycle $D=25\%$



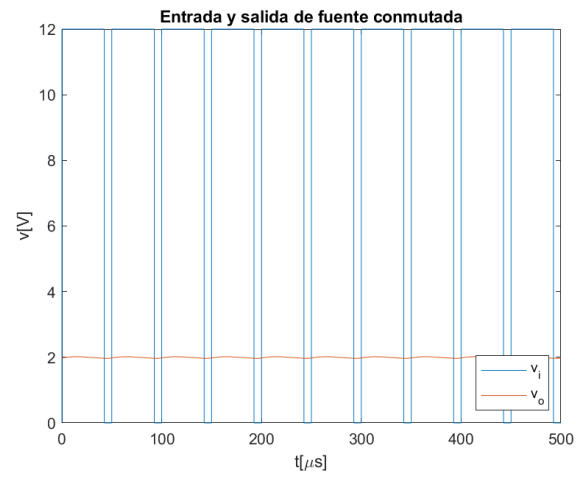
(c) Duty cycle $D=35\%$



(d) Duty cycle $D=50\%$



(e) Duty cycle $D=75\%$



(f) Duty cycle $D=85\%$

Figura 5: Tensión sobre el capacitor a la salida para distintos valores de Duty Cycle de la señal de entrada

4. Análisis de resultados

Se calcularon además analíticamente los valores de la tensión a la salida V_S a partir de la Ecuación (7) para poder observar la relación con los simulados. En el Cuadro 1 se encuentran plasmados los resultados.

D(%)	15	25	35	50	75	85
$\Delta t_1(us)$	42.5	37	32.5	25	12.4	7.5
$V_{S\text{simulado}}(V)$	10.74	10.45	10.15	9.19	5	2
$V_{S\text{analitico}}(V)$	10.89	10.53	10.11	8.8	-1	-23.55

Cuadro 1

Puede observarse que a partir de un 50 % de Duty Cycle los resultados empiezan a diferir sustancialmente. Para valores de Duty Cycle menores que el 50 % sin embargo el comportamiento simulado es muy similar al esperado a partir de los cálculos.