



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ciencias



UNIDAD 3 – REGULADORES

Regulador Reductor y Elevador

Tarea 3

Materia:

Diseño de Sistemas Fotovoltaicos

Alumno:

José Ángel Rostro Hernández

Docente:

Dr. Gerardo Vázquez Guzmán

16 de Febrero de 2025, San Luis Potosí, S.L.P., México

INTRODUCCIÓN

Los reguladores de corriente directa (CD) son componentes esenciales en la electrónica de potencia, diseñados para ajustar y controlar el voltaje en circuitos de corriente continua.

El **regulador reductor (buck)** está compuesto por varios elementos clave que trabajan juntos para reducir el voltaje de entrada a un nivel inferior en la salida. A continuación, se describe la estructura básica del circuito:

- **Fuente de Voltaje de Entrada (V_{in}):** Proporciona el voltaje inicial que se desea reducir.
- **Interruptor (Transistor, generalmente MOSFET):** Controla el flujo de corriente en el circuito. Se activa y desactiva rápidamente para regular la energía que pasa al inductor. El MOSFET está en paralelo con la fuente de entrada.
- **Diodo (D):** Permite que la corriente circule en una sola dirección y proporciona un camino para la corriente cuando el interruptor está desactivado. Está en paralelo con la carga y el condensador.
- **Inductor (L):** Almacena energía en forma de campo magnético cuando el interruptor está activado y la libera cuando el interruptor está desactivado, ayudando a suavizar la corriente. Está conectado en serie entre el interruptor y la carga.
- **Capacitor (C):** Filtra y suaviza el voltaje de salida, reduciendo las fluctuaciones y proporcionando un voltaje más estable.
- **Resistencia (R):** Representa el dispositivo o sistema que consume la energía proporcionada por el regulador buck.
- **Controlador (PWM, Modulación por Ancho de Pulso):** Ajusta el ciclo de trabajo del interruptor para regular el voltaje de salida. Este componente no es físico en el circuito, pero es esencial para el funcionamiento del regulador.

El funcionamiento del regulador buck se basa en la conmutación rápida del interruptor, que alterna entre encendido y apagado.

- ✓ Cuando el interruptor está encendido, la corriente fluye a través del inductor, almacenando energía.
- ✓ Cuando el interruptor está apagado, el inductor libera la energía almacenada a través del diodo, manteniendo el flujo de corriente hacia la carga. El condensador ayuda a mantener un voltaje de salida estable. Este proceso permite reducir eficientemente el voltaje de entrada a un nivel deseado en la salida.

Estos reguladores son usados en cargadores de baterías, sistemas de energía renovable y dispositivos portátiles que requieren voltajes más bajos.

Por otro lado, el **regulador elevador (boost)** tiene una configuración y funcionamiento diferente al regulador reductor (buck), aunque ambos son convertidores de conmutación y utilizan los mismos componentes, este regulador aumenta el voltaje de entrada a un nivel superior en la salida.

En la configuración del circuito el inductor (L) está conectado en serie con la fuente de entrada, el diodo está en serie entre el interruptor y la carga, mientras que el interruptor (transistor) está en paralelo con el inductor y la fuente. Por lo que el funcionamiento del regulador boost consiste en:

- ✓ Cuando el interruptor está cerrado (encendido), la corriente fluye a través del inductor, almacenando energía, pero la carga no recibe energía directamente.
- ✓ Cuando el interruptor está abierto (apagado), el inductor libera energía y se suma al voltaje de entrada, aumentando el voltaje de salida.
- ✓ El voltaje de salida es siempre mayor que el voltaje de entrada.

Este sistema que necesita voltajes más altos tiene aplicaciones en iluminación LED, motores eléctricos y dispositivos que operan con baterías de bajo voltaje.

DESARROLLO DE PRÁCTICA

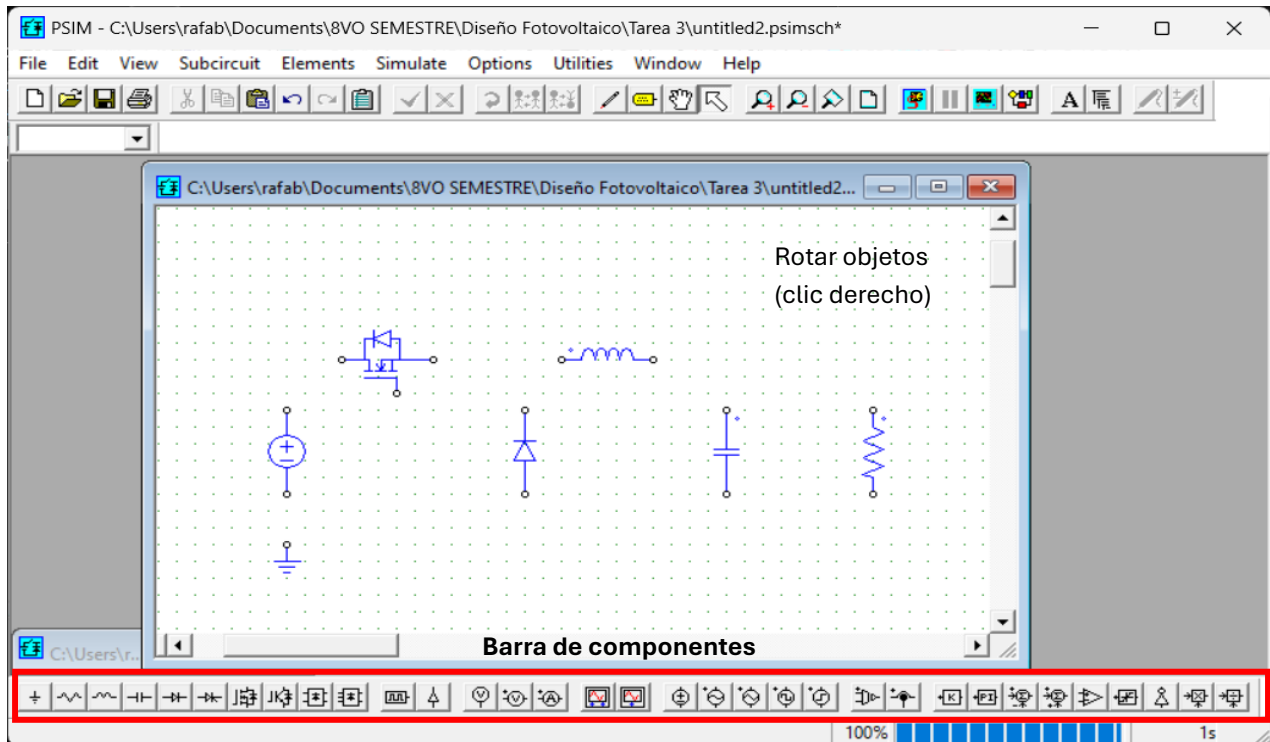
En esta practica se diseñaron 2 tipos de sistemas reguladores, uno elevador y otro reductor. Los datos proporcionados por el docente para el regulador reductor son:

- | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--|
| • $V_{in} = 180 \text{ V}_{CD}$ | • $P_{0max} = 30 \text{ Watts}$ | • $\Delta I_L = 20 \% \text{ de } I_0$ |
| • $V_0 = 48 \text{ V}_{CD}$ | • $\Delta V_0 = 500 \text{ mV}$ | • $f_s = 50 \text{ kHz}$ |

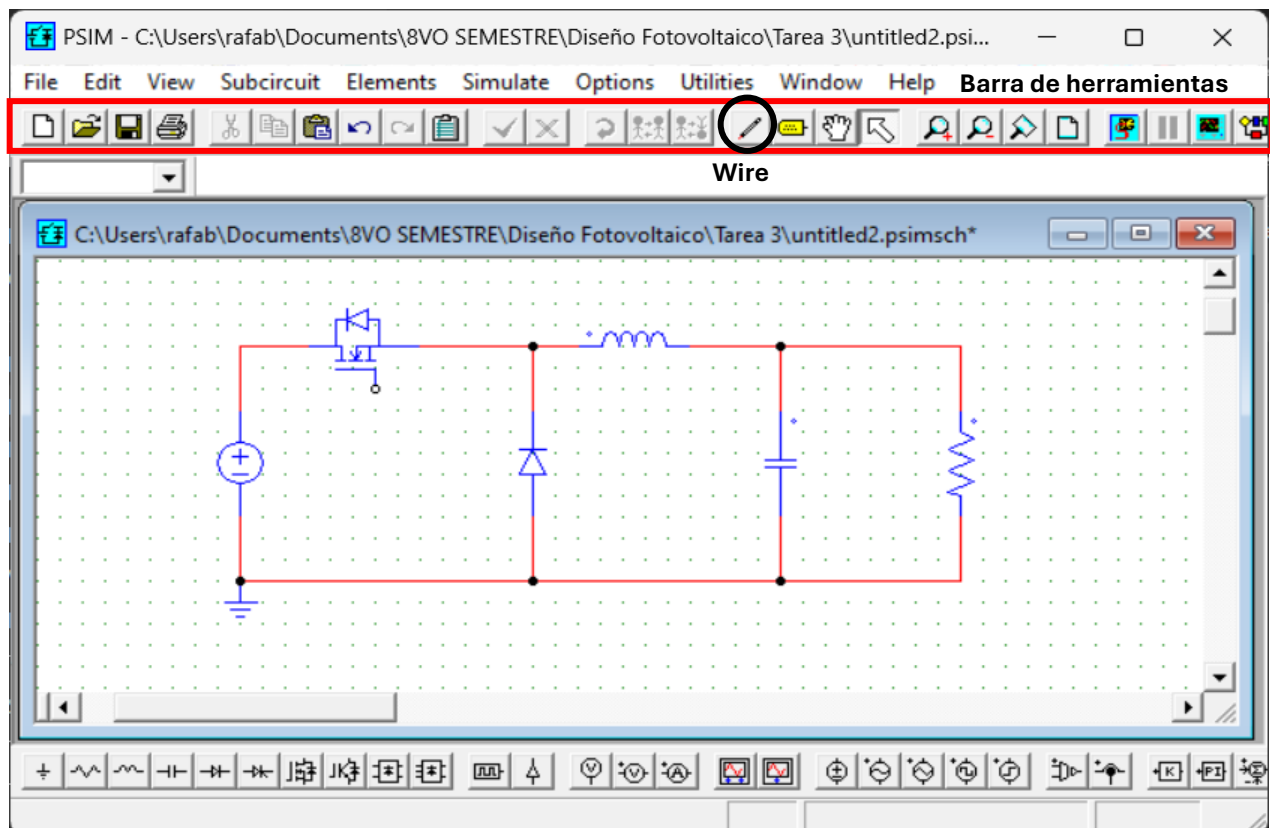
El objetivo de la práctica es determinar los siguientes parámetros: el ciclo de trabajo (D), la inductancia (L), la capacitancia (C), los esfuerzos en corriente y voltaje máximos que circulan en el transistor y en el diodo.

Diseño del circuito Regulador Buck

1. **Dibujar circuito:** En la barra de componentes ubicada en la parte inferior del programa colocamos los elementos correspondientes al sistema regulador Buck.



Para conectar el sistema, en la barra de herramientas se encuentra una opción llamada “wire” (símbolo - lápiz) se conectan los puntos entre componentes.



2. **Realizar cálculos:** En este punto para poder asignar los valores a los elementos de nuestro sistema debemos realizar algunos cálculos a partir de los valores conocidos.

Para conocer la resistencia (R) del circuito sabemos que:

$$P_{0max} = (V_o)(I_o) \xrightarrow{\text{despejando}} I_o = \frac{P_{0max}}{V_o} = \frac{30 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 0.625 \text{ A}$$

Por lo que podemos aplicar ley de ohm donde $R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{48\text{V}}{0.625\text{A}} = 76.8\Omega$

Al conocer la corriente de salida podemos obtener el rizado de corriente donde:

$$\Delta I_L = 0.2 I_o = 0.2 (0.625\text{A}) = 0.125 \text{ A}$$

Para calcular el ciclo de trabajo

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{48\text{V}}{180\text{V}} = 0.267$$

Ahora que conocemos (D) podemos calcular la inductancia (L):

$$L = \frac{(V_{in} - V_o) D}{\Delta I_L (ON) (fs)} = \frac{(180\text{V} - 48\text{V})0.267}{0.125\text{A} (50 \times 10^3 \text{Hz})} = 5.639\text{mH}$$

De igual forma podemos calcular la capacitancia (C):

$$C = \frac{(V_{in} - V_o) D}{8\Delta V_o (L)f_s^2} = \frac{(180\text{V} - 48\text{V})0.267}{8(500\text{mV})(5.638\text{mH})(50\text{kHz})^2} = 0.6565\mu\text{F}$$

TRANSISTOR

El esfuerzo de voltaje en el transistor es el voltaje máximo que experimenta el transistor ocurre cuando está apagado, ya que en ese momento soporta el voltaje de salida V_o :

$V_{max} = V_o$ por lo tanto $V_o = 48\text{V}$.

El esfuerzo de Corriente en el Transistor (I_{max}) es la corriente máxima que fluye a través del transistor ocurre cuando está encendido ya que en ese momento toda la corriente del inductor I_L pasa por el transistor.

La corriente máxima del inductor se obtiene como:

$$I_L = I_o + \frac{\Delta I_L}{2} = 0.625\text{A} + \frac{0.125\text{A}}{2} = 0.6875\text{A}$$

Como el transistor conduce toda la corriente del inductor en el estado encendido es el esfuerzo de i .

DIODO

El esfuerzo de voltaje en el diodo es el voltaje máximo en el diodo ocurre cuando el transistor está encendido, ya que en ese momento el diodo está apagado y soporta toda la diferencia de voltaje entre la salida y la entrada: $V_D = V_0 - V_{in} = 48V - 12V = 36V$.

El esfuerzo de corriente en el diodo es el mismo que el del transistor. $I_D = 0.6875 A$.

Ahora que conocemos los valores de nuestros componentes haremos doble clic izquierdo sobre cada elemento en el programa y asignaremos los valores y nombres correspondientes a nuestro sistema, también agregaremos un medidor de Voltaje de salida (V_0).

DC voltage source configuration window. The 'Name' field is set to 'Vin' and the 'Amplitude' field is set to '180'. Both fields have a 'Display' checkbox checked.

Inductor configuration window. The 'Name' field is set to 'L' and the 'Inductance' field is set to '5.639m'. Both fields have a 'Display' checkbox checked. The 'Initial Current' and 'Current Flag' fields are set to '0' and '1' respectively.

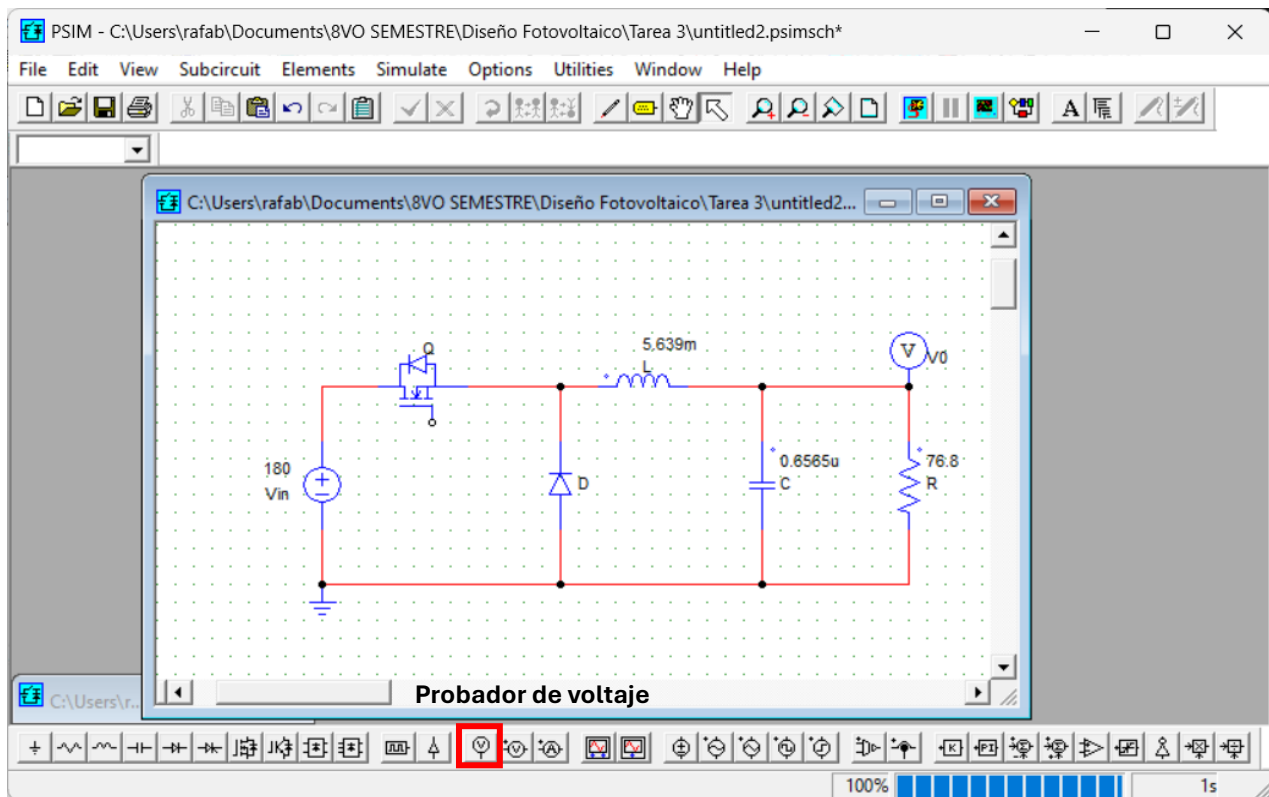
Capacitor configuration window. The 'Name' field is set to 'C' and the 'Capacitance' field is set to '0.6565u'. Both fields have a 'Display' checkbox checked. The 'Init. Cap. Voltage' and 'Current Flag' fields are set to '0'.

Resistor configuration window. The 'Name' field is set to 'R' and the 'Resistance' field is set to '76.8'. Both fields have a 'Display' checkbox checked. The 'Current Flag' field is set to '1'.

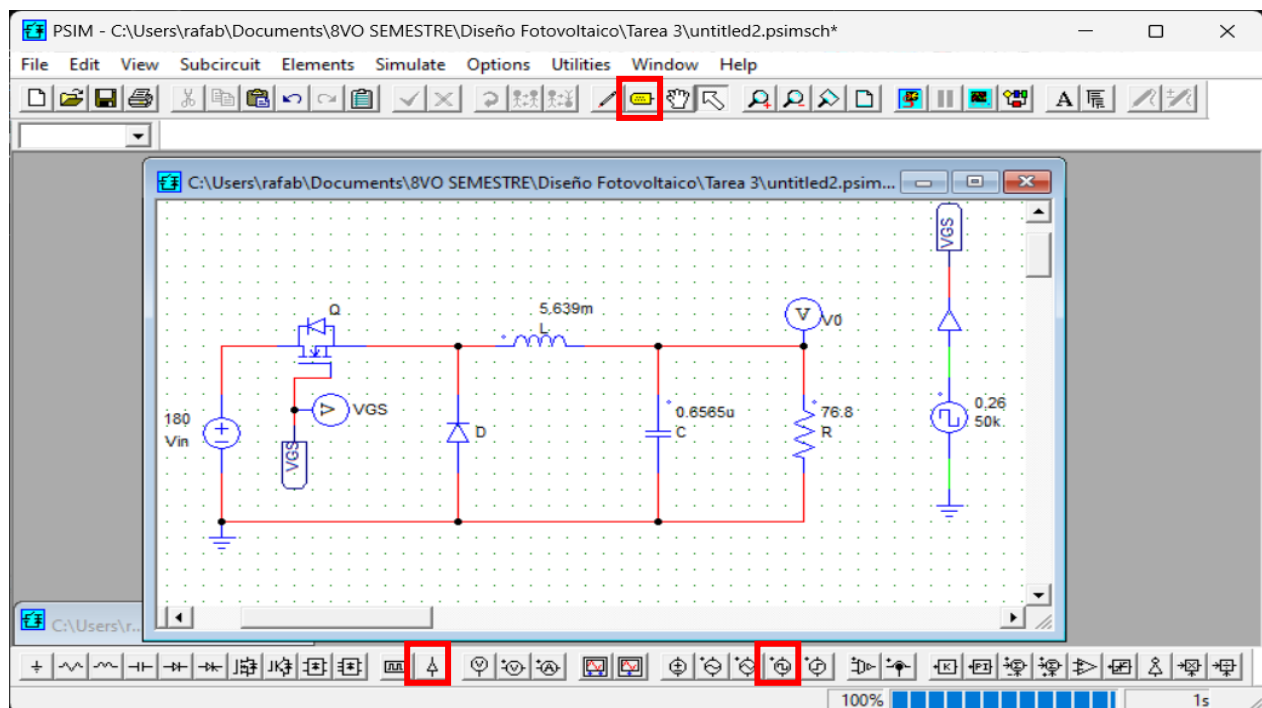
Voltage Probe configuration window. The 'Name' field is set to 'V0' and the 'Show probe's value during simulation' checkbox is checked. The 'Runtime graph: V0' checkbox is also checked.

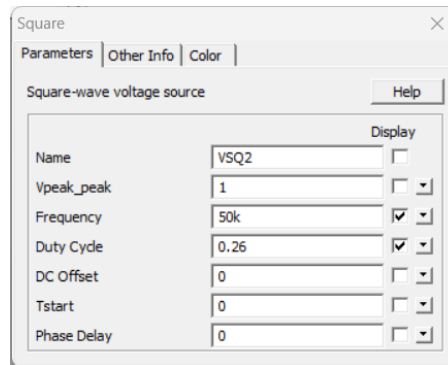
MOSFET switch configuration window. The 'Name' field is set to 'Q' and the 'On Resistance' field is set to '0'. Both fields have a 'Display' checkbox checked. The 'Diode Threshold Voltage', 'Diode Resistance', 'Initial Position', and 'Current Flag' fields are set to '0', '0', '0', and '1' respectively.

Diode configuration window. The 'Name' field is set to 'D' and the 'Diode Threshold Voltage' field is set to '0'. Both fields have a 'Display' checkbox checked. The 'Diode Resistance', 'Initial Position', and 'Current Flag' fields are set to '0', '0', and '1' respectively.

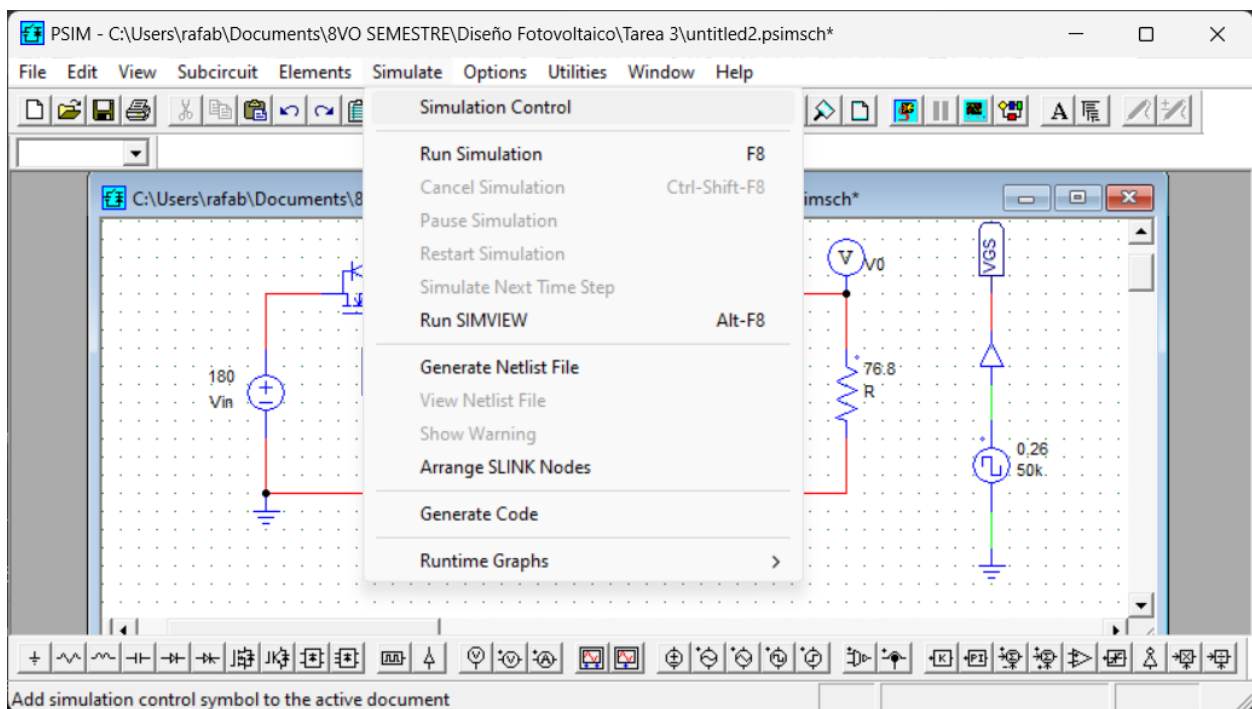


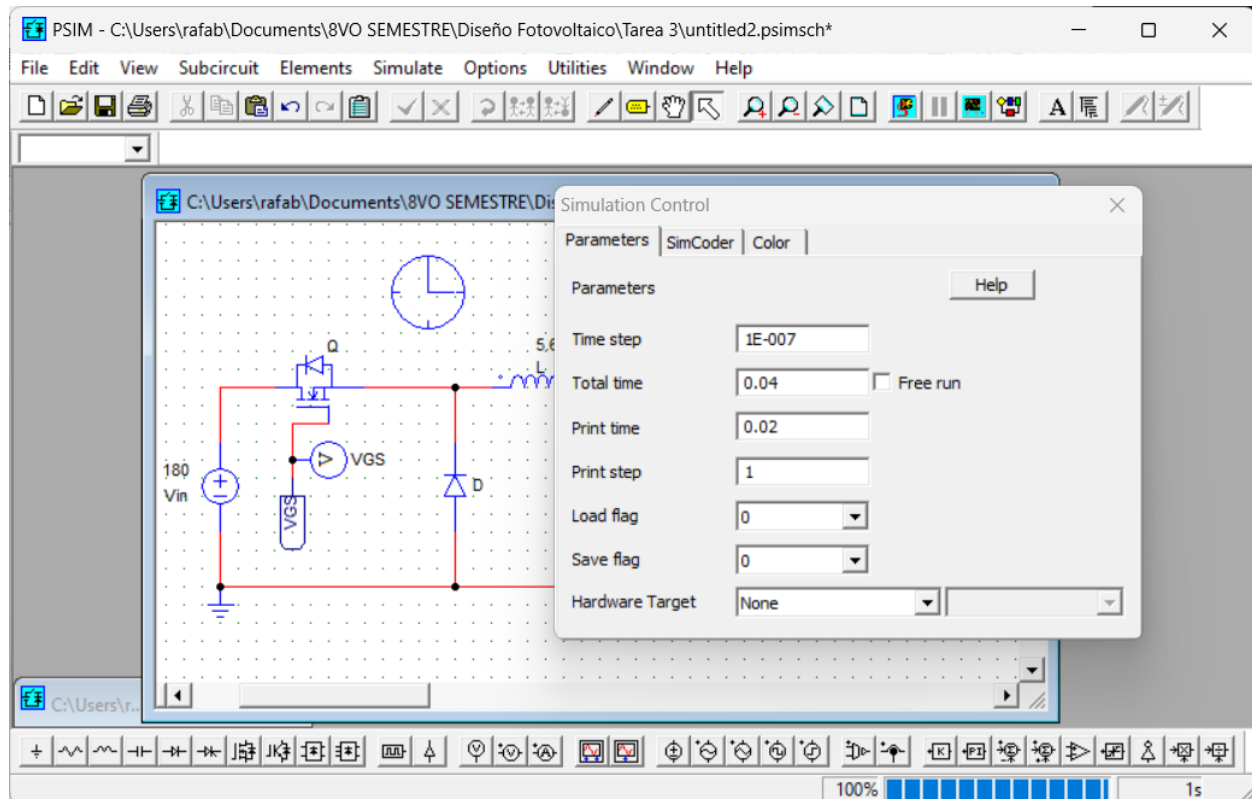
3. **Agregar circuito de control de puerta** (Una tierra, una fuente de voltaje de onda cuadrada y un switch). En el cual agregaremos un medidor de voltaje y una etiqueta en la puerta del transistor para tener un mejor orden del circuito.





Agregamos la opción de control de simulación ubicado en la barra de edición, y ajustamos los tiempos de simulación.



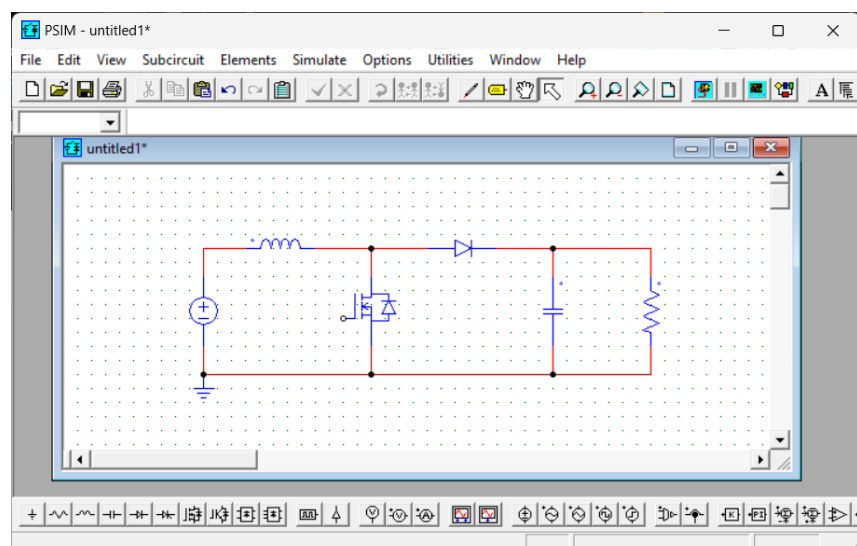


Los datos proporcionados para el regulador elevador son:

- $V_{in} = 12 V_{CD}$
- $P_{0max} = 30 \text{ Watts}$
- $\Delta I_L = 20 \% \text{ de } I_o$
- $V_0 = 48 V_{CD}$
- $\Delta V_0 = 1V$
- $f_s = 50kHz$

El diseño del circuito regulador Boost.

1. Dibujar circuito



2. Realizar cálculos.

Para conocer la resistencia (R) del circuito sabemos que:

$$P_{0max} = (V_o)(I_o) \xrightarrow{\text{despejando}} I_o = \frac{P_{0max}}{V_o} = \frac{30 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 0.625 \text{ A}$$

Por lo que podemos aplicar ley de ohm donde $R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{48 \text{ V}}{0.625 \text{ A}} = 76.8 \Omega$

Al conocer la corriente de salida podemos obtener el rizado de corriente donde:

$$\Delta I_L = 0.2 I_o = 0.2 (0.625 \text{ A}) = 0.125 \text{ A}$$

Para calcular el ciclo de trabajo tenemos

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \xrightarrow{\text{despejando}} D = 1 - \frac{1}{M}$$

Primero deberemos obtener la ganancia de CD (M), tal que $M = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4$

Por lo tanto $D = 1 - 0.25 = 0.75$

Ahora que conocemos (D) podemos calcular la inductancia (L):

$$L = \frac{(V_{in}) D}{\Delta i_{L(O.N)} (f_s)} = \frac{(12 \text{ V}) 0.75}{0.125 \text{ A} (50 \times 10^3 \text{ Hz})} = 1.44 \text{ mH}$$

De igual forma podemos calcular la capacitancia (C):

$$C = \frac{D(I_o)}{\Delta V_o (f_s)} = \frac{0.75 (0.625 \text{ A})}{(1 \text{ V})(50 \text{ kHz})} = 9.375 \mu\text{F}$$

TRANSISTOR

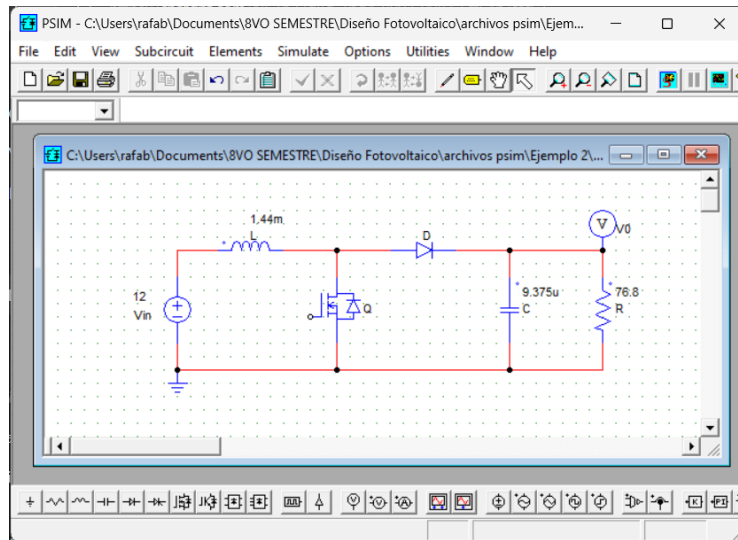
El esfuerzo de voltaje en el transistor es el voltaje máximo que experimenta el transistor ocurre cuando está apagado, ya que en ese momento soporta el voltaje de salida V_o :

$V_{max} = V_o$ por lo tanto $V_o = 48 \text{ V}$.

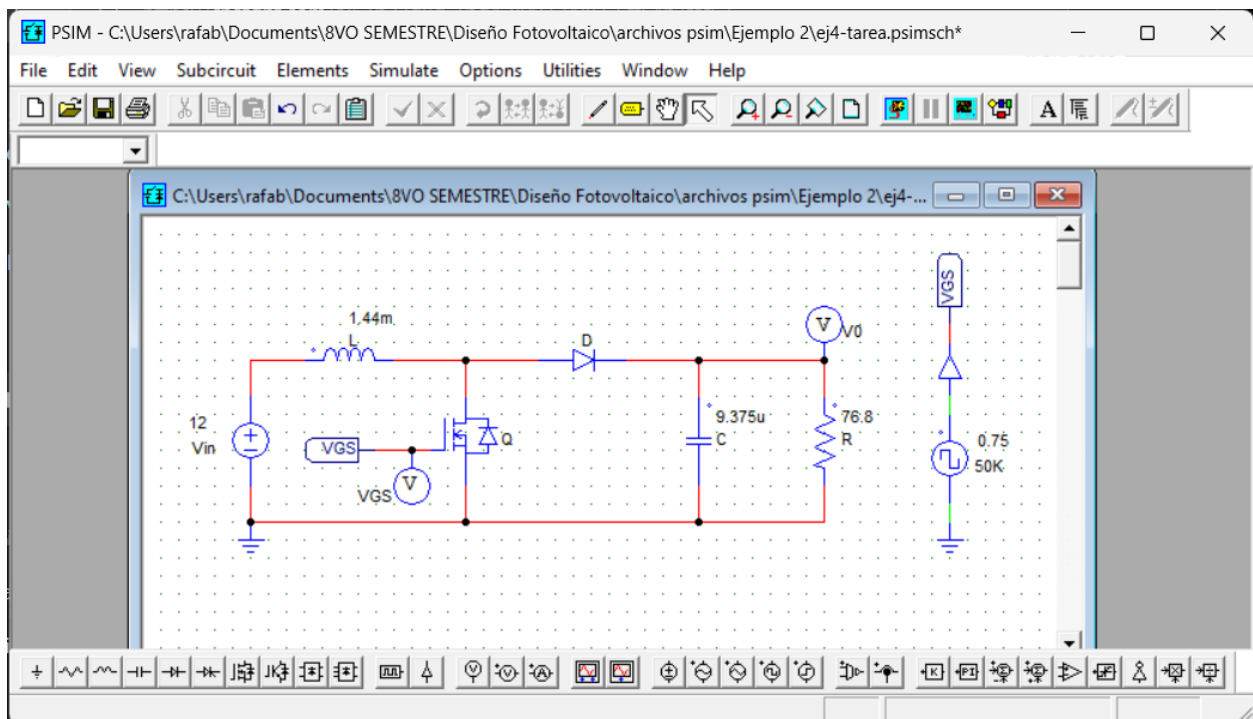
El esfuerzo de Corriente en el Transistor (I_{max}) es la corriente máxima que fluye a través del transistor ocurre cuando está encendido ya que en ese momento toda la corriente del inductor I_L pasa por el transistor.

La corriente máxima del inductor se obtiene como:

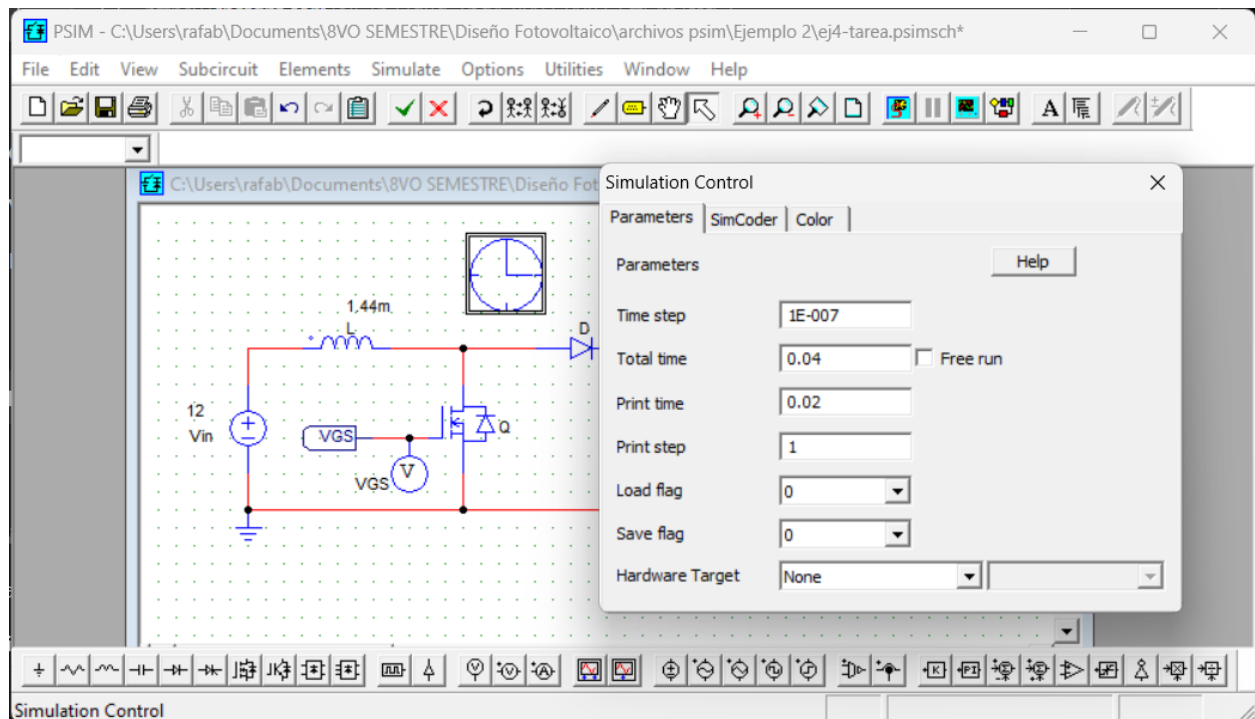
$$I_L = I_o + \frac{\Delta I_L}{2} = 0.625 \text{ A} + \frac{0.125 \text{ A}}{2} = 0.6875 \text{ A}$$



3. Agregar circuito de control de puerta

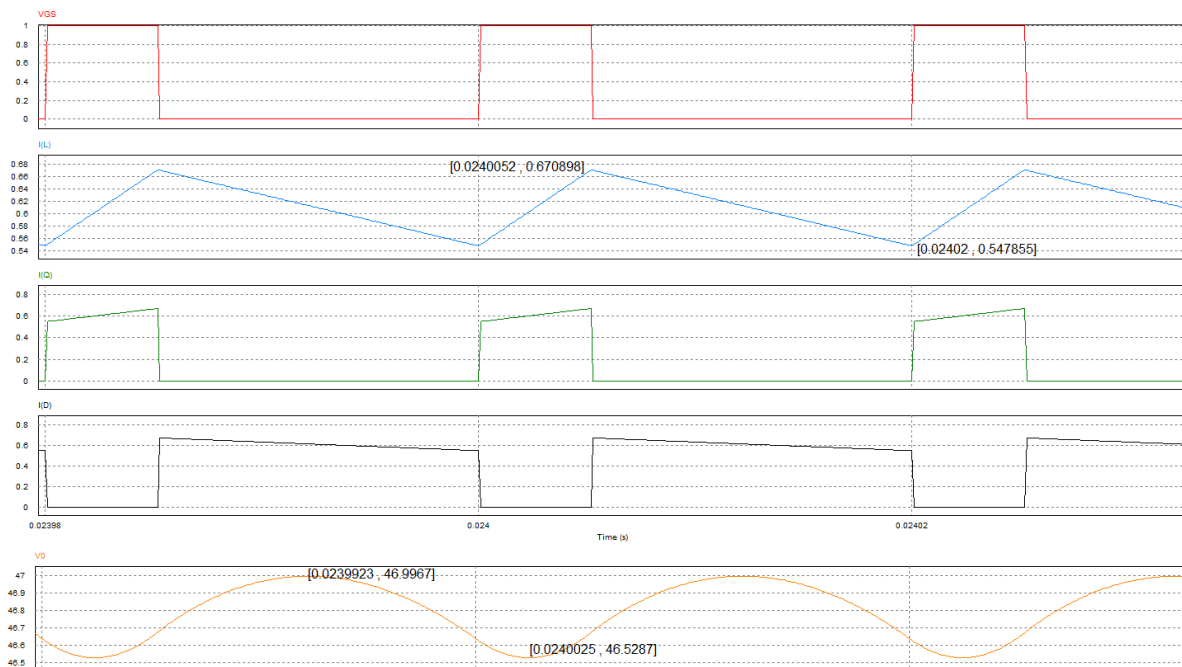


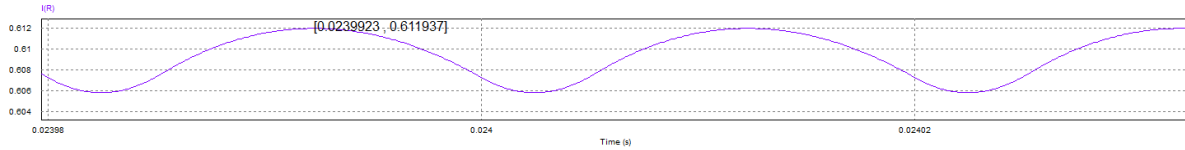
Definimos los parámetros de control de la simulación



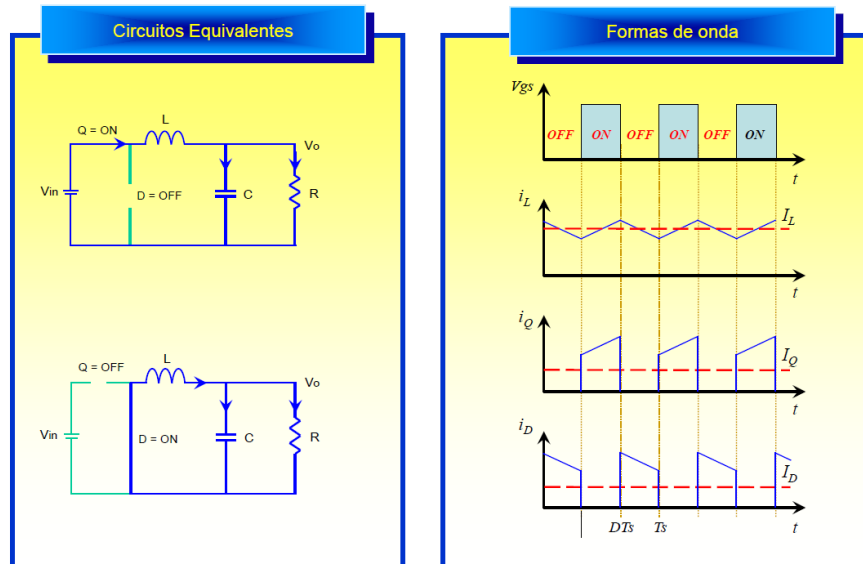
RESULTADOS

Regulador Buck





Comparación de curvas obtenidas mediante simulación con las obtenidas en clase a partir del análisis de los reguladores.

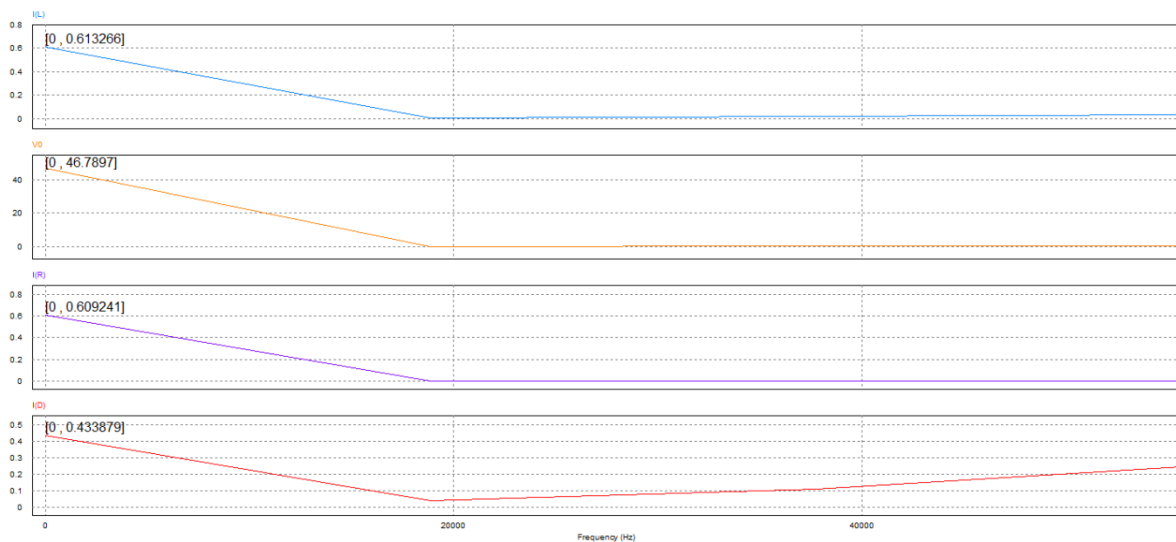


Los puntos máximos y mínimos marcados en las graficas $I(L)$ y V_o al realizar la resta nos dan los valores de la amplitud de rizo de corriente y voltaje mencionados en el problema.

$$I_{Lmax} - I_{Lmin} = 0.6708A - 0.5478A = 0.123A$$

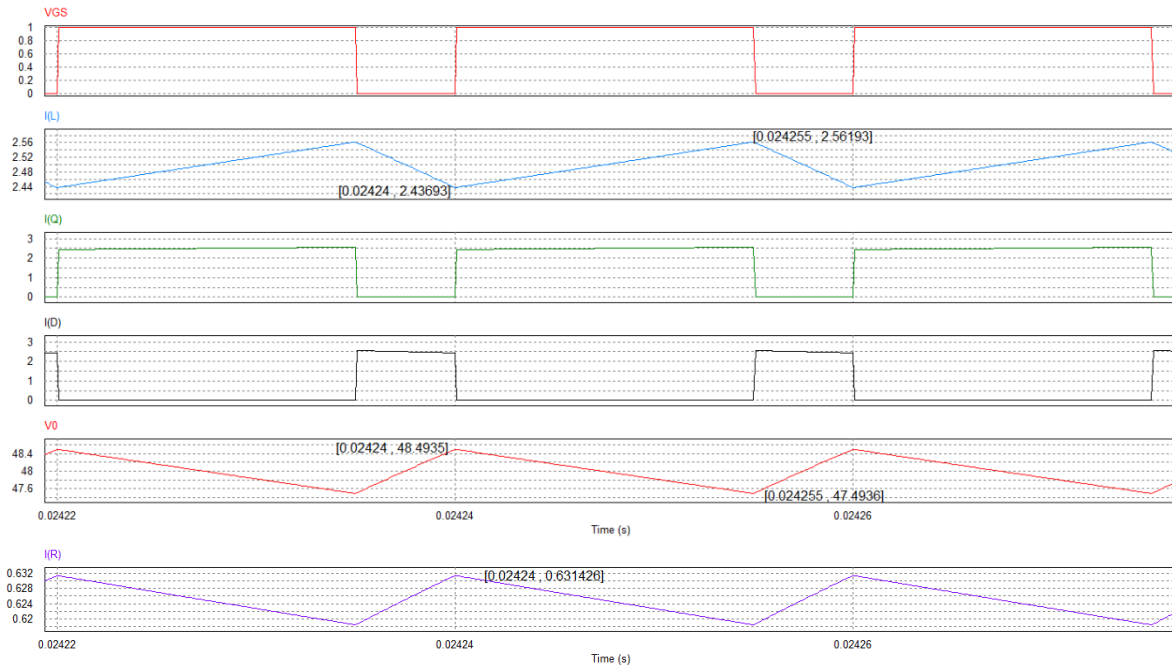
$$V_{omax} - V_{omin} = 48.493V - 47.493V = 1V$$

ESPECTROS DE FRECUENCIA

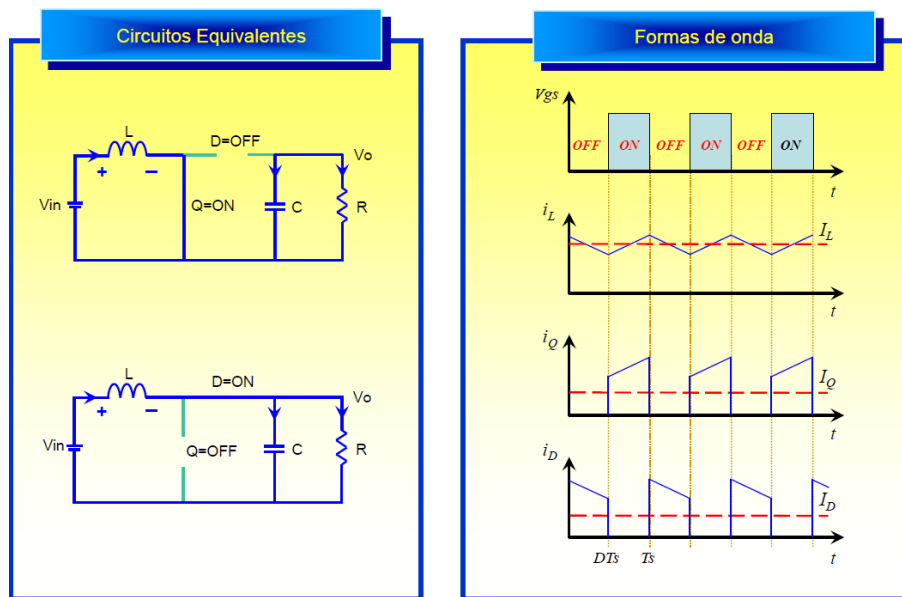


Aquí podemos ubicar los puntos de Vo y esfuerzos de i y V para el diodo y transistor.

Regulador Boost



Comparación de curvas obtenidas mediante simulación con las obtenidas en clase a partir del análisis de los reguladores.



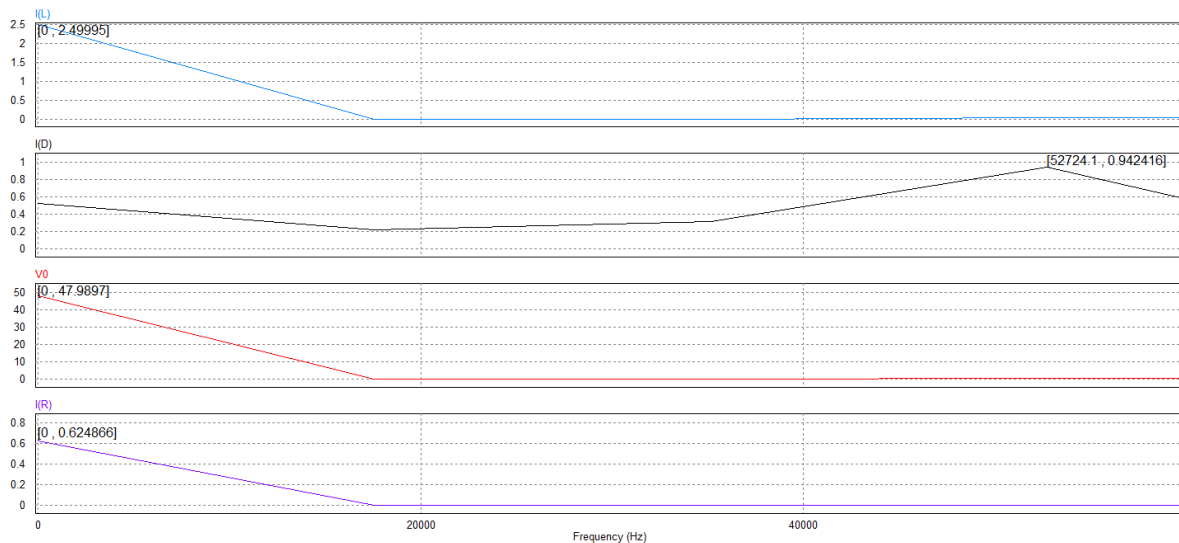
Los puntos máximos y mínimos marcados en las graficas I(L) y Vo al realizar la resta nos dan los valores de la amplitud de rizo de corriente y voltaje mencionados en el problema.

$$I_{Lmax} - I_{Lmin} = 2.561A - 2.436A = 0.125A$$

$$V_{omax} - V_{omin} = 48.493V - 47.493V = 1V$$

También se puede observar como el Vo, lo es aproximadamente al especificado en los datos.

ESPECTROS DE FRECUENCIA



CONCLUSIÓN

El análisis y simulación de los reguladores Boost y Buck demostraron su capacidad para convertir voltajes DC, elevando el voltaje con el Boost y reduciéndolo con el Buck, cumpliendo con los parámetros de diseño. El estudio de formas de onda y espectro de frecuencia es esencial para validar su funcionamiento y resaltar su importancia en diversas aplicaciones.