

ANÁLISIS DE CONVERTIDORES DE POTENCIA DC-DC CON SOFTWARE LIBRE OPENMODELICA

Stefany Garzón, Paúl Ayala, Alexander Ibarra

Resumen- El presente proyecto se centra en realizar un análisis a los convertidores de potencia DC-DC. En éste documento se trabaja con distintas topologías de conversores, éstas son: *buck*, *boost*, *buck-boost*, *sepic*, *cuk*. Para realizar el estudio de éstos conversores, se hace uso de dos simuladores de software libre, *OPENMODELICA* y *SCILAB*. Se presenta en el proyecto, generalidades de cada uno de éstos simuladores, el modelamiento matemático de conversores y las simulaciones correspondientes a cada una de las topologías anteriormente mencionadas. Al final del documento se presenta un estudio completo del convertidor *sepic* incluyendo su modelo matemático y una fórmula para determinar la potencia disipada por dicho convertidor.

Palabras Clave- Convertidores DC-DC, OpenModelica Scilab

I. INTRODUCCIÓN

Los convertidores de potencia permiten transformar el tipo de energía para que ésta sea utilizada en diferentes aplicaciones. Con la finalidad de desarrollar un convertidor con mejores prestaciones a los existentes es fundamental en primer lugar un estudio detallado de las topologías presentes hasta la actualidad.

II. Convertidores de Potencia DC-DC

Los convertidores DC-DC son circuitos que controlan el flujo de energía entre dos sistemas de corriente continua. Se los puede definir como circuitos que controlan la carga y descarga de sus elementos pasivos almacenadores de energía (condensadores y bobinas) consiguiendo un cambio en el nivel de tensión continua. [1]

Estos conversores presentan dos modos de trabajo, éstos son: modo de conducción continua y modo de conducción discontinuo [2]. En el modo de conducción continua, la corriente que atraviesa la bobina del convertidor no se anula jamás. Por el contrario, en el modo de conducción discontinua la corriente del inductor se anula por breves instantes.

Convertor Buck

La tensión de salida que presenta éste convertidor es igual o menor a la tensión de entrada. Las ecuaciones características del convertidor se muestran a continuación:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T}$$

$$V_o = \delta V_i$$

$$I_i = \delta I_o$$

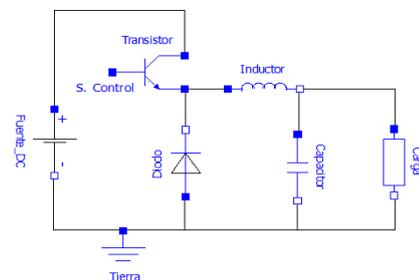


Figura 1. Topología Buck

Convertor Boost

La tensión de salida que proporciona éste convertidor es mayor a la tensión de entrada. Las ecuaciones características del convertidor se muestran a continuación:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - \delta}$$

$$I_i(1 - \delta) = I_o$$

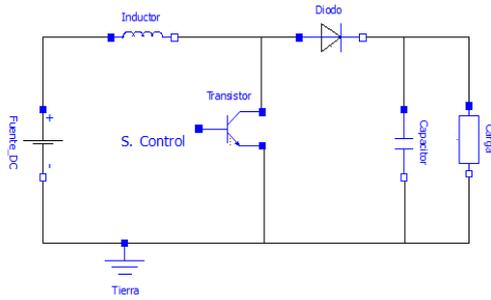


Figura 2. Topología Boost

Convertor Buck-Boost

La tensión de salida que proporciona éste convertor es mayor o menor que la tensión de entrada pero de polaridad contraria. Las ecuaciones características del convertor se muestran a continuación:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta}{1 - \delta}$$

$$\frac{I_o}{I_i} = \frac{1 - \delta}{\delta}$$

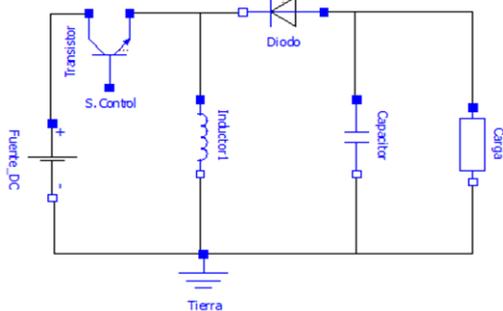


Figura 3. Topología Buck-Boost

Convertor Cuk

La tensión de salida que proporciona éste convertor es mayor a la tensión de entrada. Las ecuaciones características del convertor se muestran a continuación:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta}{1 - \delta}$$

$$\frac{I_o}{I_i} = \frac{1 - \delta}{\delta}$$

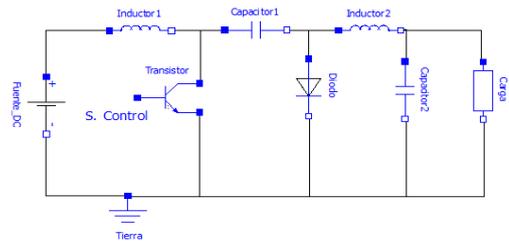


Figura 4. Topología Cuk

Convertor Sepic

La tensión de salida que proporciona éste convertor es mayor a la tensión de entrada. Las ecuaciones características del convertor se muestran a continuación:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta}{1 - \delta}$$

$$\frac{I_o}{I_i} = \frac{1 - \delta}{\delta}$$

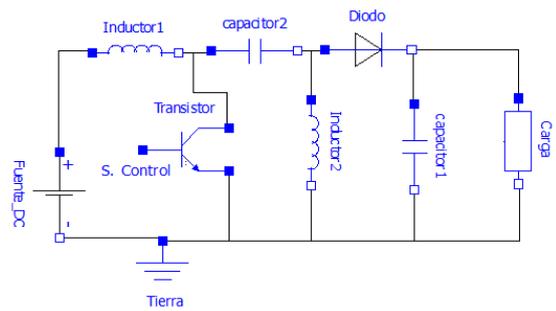


Figura 5. Topología Sepic

En la tabla 1 se puede observar el modelo matemático de cada uno de los convertidores de potencia mencionados anteriormente. La variable u representa la posición del elemento conmutador, tomando el valor de 1 cuando éste conduce y el valor de 0 cuando éste no conduce. [3]

Tabla 1. Modelo Matemático de Conversores

	Modelo Matemático	
Convertidor Buck	$L \frac{di_L}{dt} = -V_c + u(V_i)$	$C \frac{dv_c}{dt} = I_L - \frac{V_c}{R}$
Convertidor Boost	$L \frac{di_L}{dt} = -(1-u)V_c + V_i$	$C \frac{dv_c}{dt} = (1-u)(I_L) - \frac{V_c}{R}$
Convertidor Buck-Boost	$L \frac{di_L}{dt} = (1-u)V_c + uV_i$	$C \frac{dv_c}{dt} = -(1-u)(I_L) - \frac{V_c}{R}$
Convertidor Cuk	$L1 \frac{di_{L1}}{dt} = -(1-u)V_{C1} + V_i$ $L2 \frac{di_{L2}}{dt} = -uV_{C1} - V_{C2}$	$C1 \frac{dv_{C1}}{dt} = (1-u)I_{L1} + uI_{L2}$ $C2 \frac{dv_{C2}}{dt} = -\frac{V_{C2}}{R} + I_{L2}$
Convertidor Sepic	$L1 \frac{di_{L1}}{dt} = -(1-u)(V_{C2} + V_{C1}) + V_i$ $L2 \frac{di_{L2}}{dt} = uV_{C1} - (1-u)V_{C2}$	$C1 \frac{dv_{C1}}{dt} = (1-u)I_{L1} - uI_{L2}$ $C2 \frac{dv_{C2}}{dt} = -\frac{V_{C2}}{R} + (1-u)(I_{L2} + I_{L1})$

III. SIMULADORES

OpenModelica

Modelica es así, un lenguaje de simulación y modelaje orientado a objetos. Permite el modelamiento de sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos, sistemas de control, así como el modelamiento de aplicaciones orientadas a procesos y sistemas dinámicos.

El lenguaje modélica fue diseñado de manera que pueda ser utilizado en forma similar a como un ingeniero construye un sistema real, es decir con el uso de ecuaciones. [4]

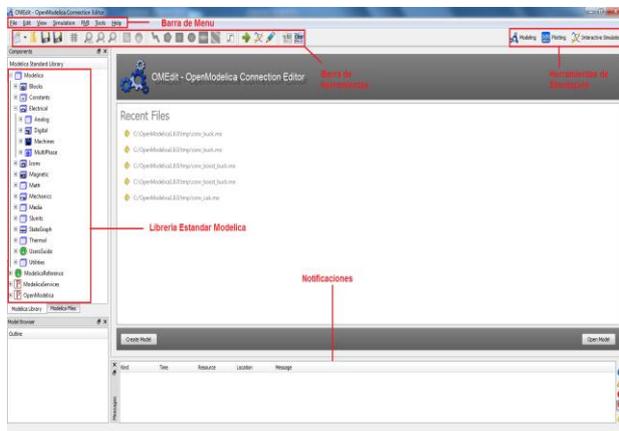


Figura 6. Editor de OpenModelica

Scilab

Scilab es un *software* desarrollado en el instituto francés INRIA *Institut National de Recherche en Informatique et Automatique*, con la colaboración de la escuela de ingenieros ENPC, *Ecole Nationale de Ponts et Chaussées*. [5]

Scilab permite compilar y utilizar otros lenguajes como Fortran y C, de esta forma librerías externas

pueden ser utilizadas como si fuesen parte de Scilab. Este software es compatible con Matlab por lo que cualquier archivo de matlab M-File, puede ser simulado directamente desde Scilab.

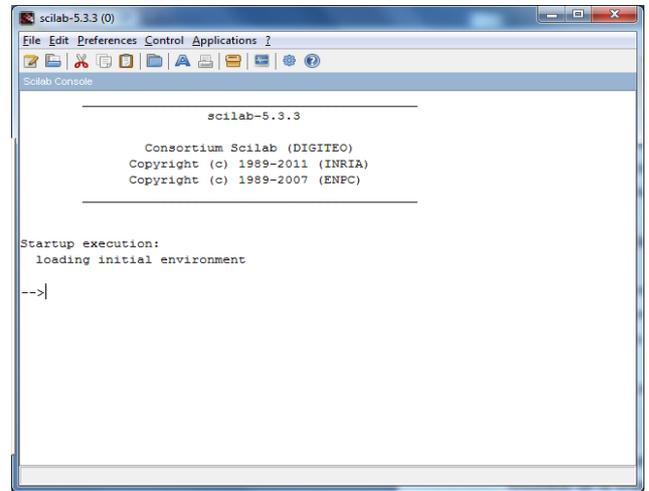


Figura 7. Área de trabajo de Scilab

IV. RESULTADOS

Una vez estudiado el funcionamiento de los convertidores y conociendo los simuladores se realiza el diseño de los convertidores obteniendo los parámetros mostrados en la tabla 2 para su simulación.

Los resultados obtenidos para cada convertidor son los esperados sin embargo estos presentan sobre impulsos antes de estabilizarse.

Tabla 2. Elementos de los Convertidores

	Convertor Buck	Convertor Boost	Convertor Buck-Boost	Convertor Cuk	Convertor Sepic
Tensión de Entrada	24 V	12 V	24 V	24 V	24 V
Tensión de Salida	12 V	24 V	12 V	12 V	12 V
Frecuencia Conmutación	20 KHz	20 KHz	20 KHz	20 KHz	20 KHz
Inductor 1	0.1688mH	0.18mH	0.48mH	0.51mH	0.178mH
Inductor 2	-----	-----	-----	0.51mH	0.178mH
Capacitor 1	1.04 mF	1.16 mF	2.29 mF	47 uF	10uF
Capacitor 2	-----	-----	-----	47 uF	4.7mF
Carga	1.09 Ω	2.16 Ω	0.81 Ω	52 Ω	0.81 Ω

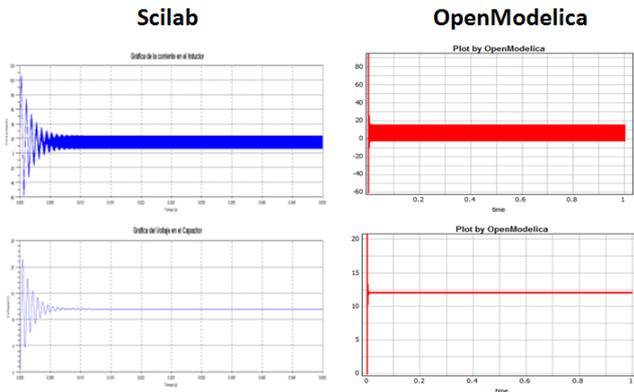


Figura 6. Resultados Convertidor Buck

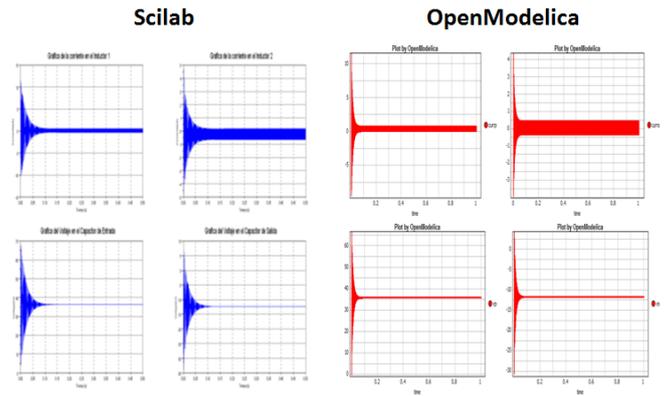


Figura 9. Resultados Convertidor Cuk

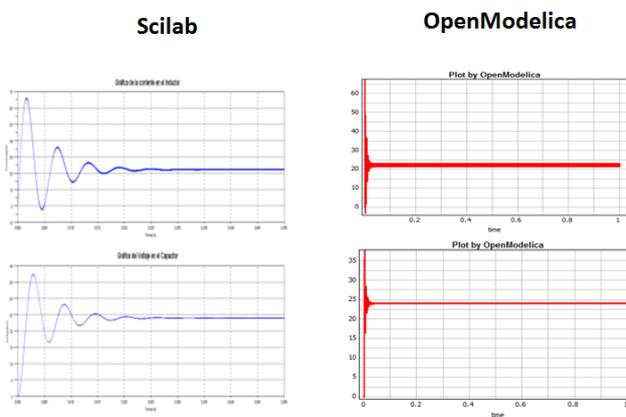


Figura 7. Resultados Convertidor Boost

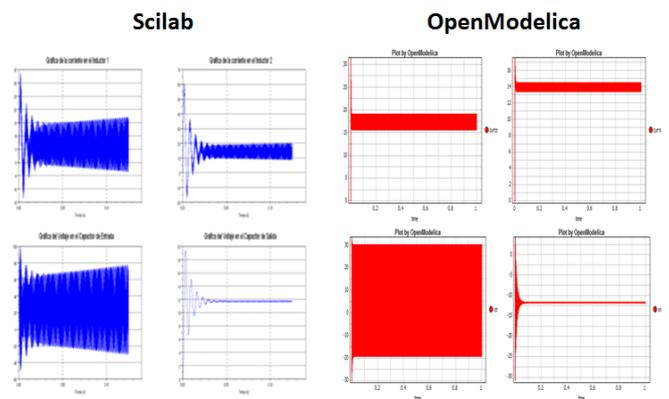


Figura 10. Resultados Convertidor Sepic

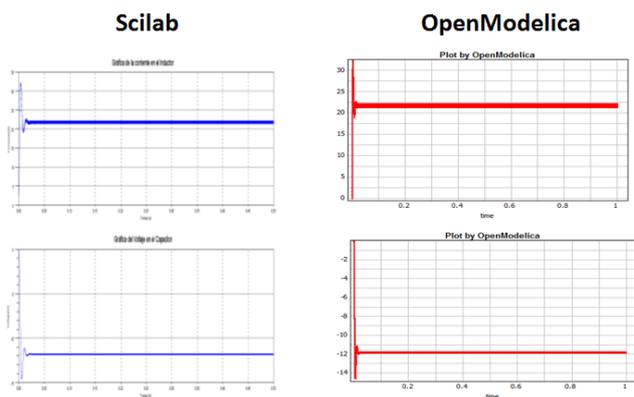


Figura 8. Resultados Convertidor Buck-Boost

V. ANÁLISIS CONVERTOR SEPIC

Para el análisis del convertor sepic se toma en cuenta las resistencias presentes en los capacitores y bobinas, de ésta manera se presenta el modelo matemático del convertidor.

$$L1 \frac{di_{L1}}{dt} = -(1-u) \left(\left(\frac{R}{R+R_{C2}} \right) V_{C2} + \left(\frac{R \times R_{C2}}{R+R_{C2}} \right) i_{L2} + V_{C1} \right) + Vi - \left(R_{L1} + (1-u) \left(R_{C1} + \frac{R \times R_{C2}}{R+R_{C2}} \right) \right) i_{L1}$$

$$L2 \frac{di_{L2}}{dt} = u(-R_{C1} + R_{L2})i_{L2} - (1-u) \left(\left(\frac{R}{R+R_{C2}} \right) V_{C2} + \left(\frac{R \times R_{C2}}{R+R_{C2}} \right) i_{L1} + \left(R_{L2} + \frac{R \times R_{C2}}{R+R_{C2}} \right) i_{L2} \right)$$

$$C1 \frac{dv_{c1}}{dt} = (1-u)i_{L1} - ui_{L2}$$

$$C2 \frac{dv_{c2}}{dt} = -\frac{V_{C2}}{R+R_{C2}} + (1-u) \left(\left(\frac{R}{R+R_{C2}} \right) i_{L2} + \frac{1}{R+R_{C2}} i_{L1} \right)$$

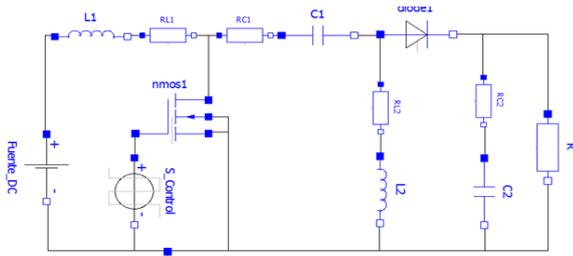


Figura 13. Conversor Sepic

Una vez determinado el modelo matemático del conversor Sepic, es posible determinar la potencia disipada por el semiconductor del mismo. Es posible obtener la fórmula de la potencia partiendo de las curvas características del semiconductor, de ésta manera se tiene:

$$P = \frac{1}{T} \cdot I_{Dmax} \left[V_{DSat} \left(2 \cdot ton_i + \frac{3}{2} ts_i + \frac{tb_i}{2} + a \right) + V_i(a) \right]$$

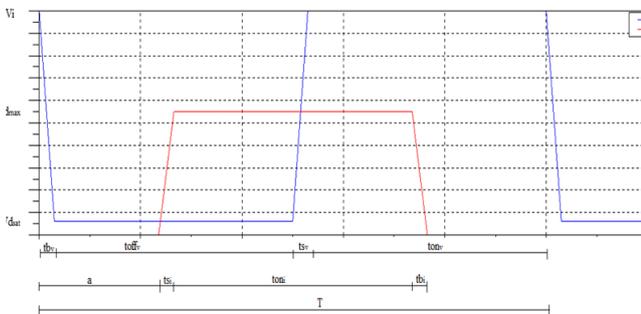


Figura 14. Curvas Características del Semiconductor

VI. CONCLUSIONES

Se analizó el funcionamiento de los convertidores de potencia DC-DC, mediante el uso de dos simuladores gratuitos como son: OpenModelica y Scilab.

Se pudo comprobar la importancia de los simuladores, ya que son herramientas indispensables para el estudio de un sistema o circuito, en éste caso para el estudio de los convertidores de potencia dc-dc.

Se pudo observar que Scilab es un programa que posee gran similitud al simulador comercial Matlab, de hecho es posible transformar programas realizados en Matlab a Scilab, con un conversor que viene integrado en el programa, por lo cual se lo puede reemplazar en algunas aplicaciones.

En las señales resultantes obtenidas se puede observar que existe sobreimpulsos en la tensión de salida del circuito, por lo cual se debería utilizar

una señal de control realimentada para evitar tener estos picos de tensión que pueden ser perjudiciales para las cargas.

Se pudo observar que el software OpenModelica, es un simulador muy versátil, que permite trabajar no solo con modelos eléctricos, sino también con modelos hidráulicos, mecánicos, entre otros. Sin embargo, éste presenta fallas al trabajar en el editor gráfico.

Si bien se ha trabajado en ambos simuladores con línea de comandos, al observar los códigos utilizados en los diferentes simuladores, se puede concluir que la programación utilizada en OpenModelica es más corta y sencilla. Esto se debe por una parte a que se utilizó una librería de modélica para la creación de la señal cuadrada y por otro lado a que el lenguaje utilizado es específico para trabajar con ecuaciones matemáticas lo cual simplifica la programación.

Para la resolución de las ecuaciones diferenciales utilizadas para modelar los convertidores de potencia, se utilizó el comando ode en scilab, mientras que en Openmodelica no es necesario hacer esto, basta con determinar las ecuaciones y el momento de ejecutar la simulación, éstas se resolverán automáticamente.

VII. REFERENCIAS

- [1] Mohan, Ned, *First Course on Power Electronics and Drives*, edición 2003
- [2] Rashid, Muhammad, *Electrónica de Potencia*, Tercera edición, 2004
- [3] Mohan, Ned, Undeland, Tore, Robbins, William, *Electrónica de Potencia-convertidores, aplicaciones y diseño*, Tercera edición
- [4] Furic, Sébastien, "Using Modelica under Scilab/Scicos", <http://www.scicos.org/ScicosModelica/Formation/Documentation/Introduction%20to%20Modelica.pdf>
- [5] <http://www.scilab.org/support/documentation/tutorials>