

CONTROL PREDICTIVO DE UN CONVERTIDOR SEPIC CON MÚLTIPLES FUENTES DE SUMINISTRO

PREDICTIVE CONTROL OF A SEPIC CONVERTER WITH MULTIPLE SUPPLY SOURCES

Jovanni Miguel Lozano Martínez

Instituto Politécnico Nacional, México
jlozanom2001@alumno.ipn.mx

Jazmín Ramírez Hernández

Instituto Politécnico Nacional, México
jazzrh@hotmail.com

Leobardo Hernández González

Instituto Politécnico Nacional, México
bilbito_98@yahoo.com

Recepción: 1/noviembre/2021

Aceptación: 24/febrero/2022

Resumen

El convertidor CD-CD SEPIC tiene características muy particulares, como son: corriente continua a la entrada no pulsante, tensión de salida variable mayor o menor a la tensión en la entrada y ser controlado por un solo interruptor. Darle la capacidad a este convertidor de ser alimentado por múltiples fuentes de energía de suministro presenta algunos beneficios, en este artículo solo se analiza la capacidad de sumar la potencia de dos o más fuentes de energía para alcanzar una potencia mayor, sin la necesidad de hacer arreglos de fuentes primarias en serie o paralelo, es decir, el flujo de corriente de una fuente no influirá sobre la otra, las corrientes que cada fuente genere serán sumadas en la carga. Como esquema de control se utiliza la técnica de control predictivo, lo que garantiza en el resultado demandar la potencia deseada de cada fuente de suministro para su utilización en la carga.

Palabras Clave: Control, control predictivo, potencia.

Abstract

The SEPIC DC/DC converter has particular characteristics, such as direct current at the input, variable output voltage higher or lower than the input voltage, and a

control by a single switch. Giving this converter the ability to be powered by multiple supply energy sources has some benefits, in this article only the ability to add the power of two or more energy sources is analyzed to achieve a greater power, without the the sources arrangements in series or parallel, it means, the current flow from one source has not influence in the other, the currents that each source generates are in the load. As a control scheme a Predictive control is used to ensure in the results the desired power transfer from each supply source to the output load.

Keywords: *Control, Power, Predictive control.*

1. Introducción

Los convertidores de CD-CD (Corriente Directa a Corriente Directa) han sido altamente utilizados para elevar o disminuir un voltaje a partir de fuentes de voltaje constante, también tienen la capacidad de regular el voltaje a partir de fuentes de corriente directa que varían su voltaje por arriba o por debajo de un valor nominal [Villanueva, 2018], sea cual sea el caso, para aumentar la capacidad de potencia a partir de varias fuentes de voltaje, típicamente se forman bancos de suministro, ya sea en arreglos serie o en paralelo, que a pesar de ser efectivos, los arreglos serie tienen un pequeño problema, cuando una de las fuentes conectadas falla se interrumpe el flujo de corriente, en el caso del arreglo en paralelo es necesario que las fuentes de suministro sean del mismo voltaje, normalmente se acostumbra usar arreglos serie-paralelo para compensar las deficiencias de ambos arreglos, logrando así alcanzar una mayor potencia y proporcionar una sola fuente de suministro al convertidor.

El modelado y control del convertidor SEPIC es un tema que se ha investigado en los últimos años, como ejemplo se encuentra [Valle, 2014], donde se realiza el análisis y diseño de un controlador para el convertidor SEPIC, basado en el método del punto de equilibrio del sistema, con el objetivo de mejorar el rendimiento del convertidor, en [Ramos, 2017], se analizan diversos algoritmos MPPT donde es necesario el uso de convertidores CD-CD, entre ellos se analiza el convertidor SEPIC, en [Aliaga, 2019] y [Sana, 2019] se utiliza el control predictivo para que un convertidor consiga obtener el máximo punto de potencia de una celda fotovoltaica.

Otro tema fuerte en investigaciones recientes es la capacidad de los convertidores CD-CD de tener varias fuentes a la entrada, por ejemplo, en [Khadem, 2017], se presenta un nuevo convertidor CD-CD de múltiples entradas basado en la topología SEPIC, dicho convertidor tiene el fin de lograr la hibridación de varias fuentes de energía alternativas, otro caso es [Alvarez, 2019], se diseña y valida en simulación un convertidor de potencia CD-CD bidireccional de múltiples entradas para lograr la interacción entre dos o más fuentes de energía, pretende tener una aplicación en vehículos eléctricos, [Lara, 2017], basada en el convertidor Flyback propone una topología que podría regular de manera independiente cada una de las entradas de las que dispone, además de permitir la carga/descarga de una batería para funcionar en modo respaldo, por último, en [Chan, 2017], se analizan diferentes tipos de convertidores de potencia multi-entrada, se diseña y se presentan resultados de un convertidor Boost intercalado CBI, este convertidor se selecciona a partir de un criterio de costo, fiabilidad, flexibilidad, eficiencia y técnica de control aplicada.

Es claro que en la actualidad el análisis de la transmisión y el procesamiento de energía se ha vuelto clave en la industria, ya que uno de los objetivos tecnológicos es mejorar la calidad y el aprovechamiento de energía, los convertidores son una clave importante para ello.

En este artículo se analiza la capacidad de un convertidor SEPIC de recibir múltiples fuentes de suministro, con el fin de distribuir entre estas la potencia que se desea en la carga. Uno de los grandes beneficios es que, si una de las fuentes falla, para compensarla se incrementa la demanda de potencia en el resto de forma proporcional, cuando regrese la fuente, nuevamente se distribuye la potencia exigida entre el total de las fuentes.

Para controlar la corriente demandada a cada fuente de suministro se usa el control predictivo, el cual se basa en el modelo de estados del convertidor SEPIC con múltiples fuentes de suministro propuesto. Dicho modelo de estados se discretiza utilizando la aproximación de Euler, logrando predecir el valor de la corriente futura de cada fuente de suministro; estas predicciones pasan a una función de costo donde se calcula el error de cada predicción, finalmente se eligen las opciones que

generen un menor error, todo el proceso se realiza de manera dinámica y se encuentra resumido en un diagrama de flujo.

En los resultados presentados se observa que el convertidor siempre busca cumplir con la potencia deseada a la salida, dicha potencia es distribuida entre la cantidad de fuentes que estén disponibles a la entrada, conforme se van activando o desactivando las fuentes, el convertidor demanda más o menos corriente con el fin de cumplir su propósito.

Para finalizar este artículo se realiza una discusión y conclusión de los resultados, además se comparten las propuestas del trabajo a futuro.

2. Métodos

Convertidor SEPIC con múltiples fuentes de suministro propuesto.

El convertidor SEPIC con múltiples fuentes de suministro se muestra en la figura 1, se observan dos bloques principales, el bloque de Circuito de suministro, que se encuentra delimitado por la línea roja, y bloque llamado Circuito a la carga, delimitado por la línea morada. Los bloques comparten dos nodos de conexión en común, el primero de ellos es la tierra, necesario para que fluya la corriente, el otro punto de conexión es llamado Nodo_Suma, en este nodo se suman las corrientes provenientes de cada Circuito de suministro.

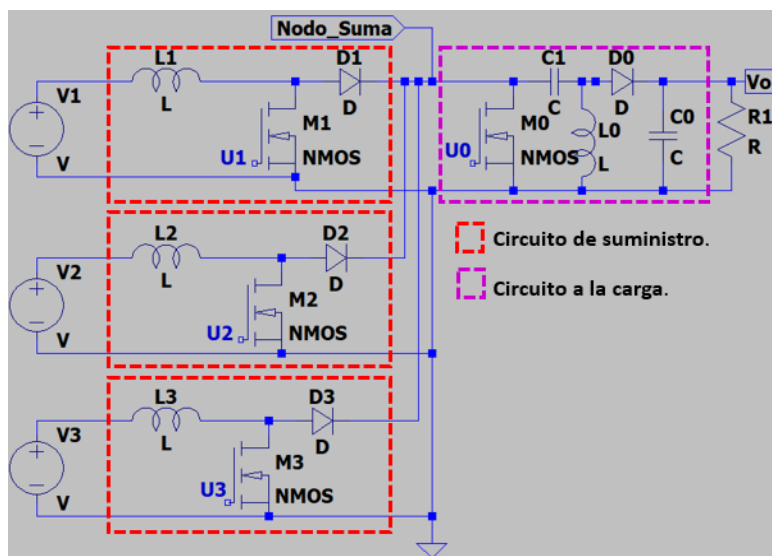


Figura 1 Convertidor SEPIC con múltiples fuentes de suministro.

A cada Circuito de suministro se conecta una fuente de suministro V_x , el subíndice toma el valor de la fuente de la cual se esté hablando, dentro de cada bloque de suministro se encuentra un inductor L_x , un interruptor M_x y un diodo D_x , también se define N , que equivale al número de fuentes de suministro que alimentan al convertidor, cabe resaltar que para el siguiente análisis todos los elementos parásitos serán considerados ideales.

El diodo D_x cumple una función de válvula unidireccional de corriente, es decir, no permite que el flujo de corriente vaya del Nodo_Suma hacia el inductor L_x en su respectivo Circuito de suministro, debido a esto, la corriente de cada fuente de suministro no fluye entre ellas, solo hacia el Circuito a la carga, por lo que cada Circuito de suministro con el Circuito a la carga se puede analizar cómo se presenta en la figura 2.

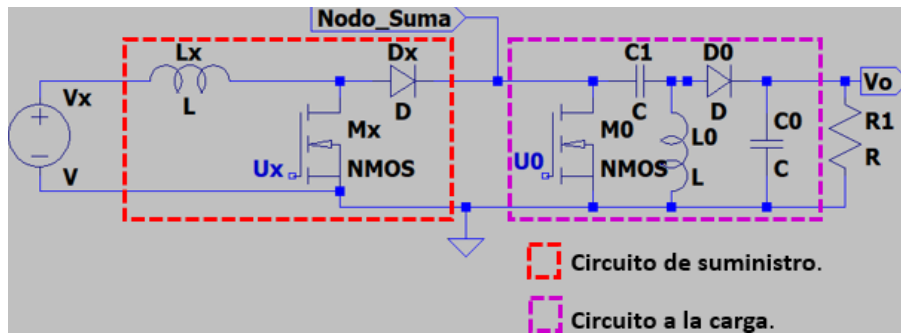


Figura 2 Relación de cada Circuito de suministro con el circuito a la carga.

El interruptor M_x es el encargado de controlar el flujo de corriente iL_x que se entrega al Circuito a la carga proveniente de cada Circuito de suministro, para ejercer control en el circuito basta con monitorear cada iL_x , así que solo se analiza el modelado para el cambio de corriente en L_x . Debido al interruptor M_x son posibles dos modos de conmutación, el primer modo es cuando el interruptor $M_x = 1$ o se encuentra cerrado, figura 3, debido a este modo de conmutación los diodos D_x y D_0 se despolarizan y se comportan como circuitos abiertos, si se hace el análisis de Kirchoff sobre la malla que contiene a iL_x se tiene la ecuación 1, donde se aprecia que el circuito de suministro a la entrada V_x provoca un cambio de corriente en el inductor L_x .

$$V_x = L_x \frac{di_{L_x}}{dt} \quad (1)$$

Donde:

X : Toma el valor de la fuente de suministro de la que se esté hablando.

V_x : Fuente de voltaje de suministro.

L_x : Inductor en el Circuito de suministro

i_{L_x} : Corriente en el inductor de suministro.

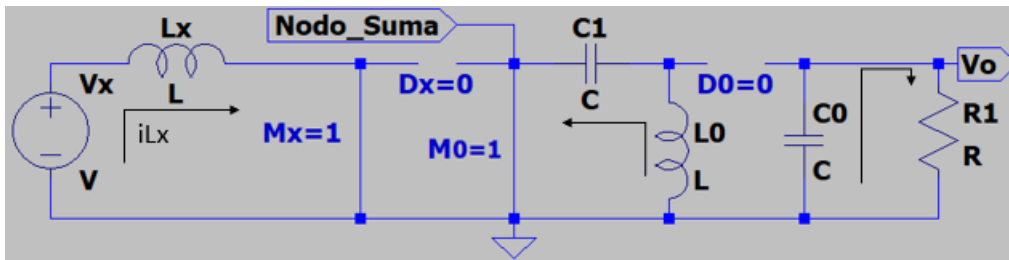


Figura 3 Modo de conmutación $M_x = 1$ o interruptor cerrado.

El segundo modo de conmutación se da cuando el interruptor $M_x = 0$ o se encuentra abierto, este modo se observa en la figura 4, donde D_x y D_0 se polarizan y actúan como corto circuito de forma ideal, lo que provoca una caída de tensión en los capacitores C_1 y C_0 , así como en el inductor L_x , por lo que aplicando la ley de voltajes de Kirchoff se obtiene la ecuación 2.

$$V_x = L_x \frac{di_{L_x}}{dt} + v_{c1} + v_{c0} \quad (2)$$

Donde:

v_{c1} : Voltaje en el capacitor 1.

v_{c0} : Voltaje en el capacitor 0.

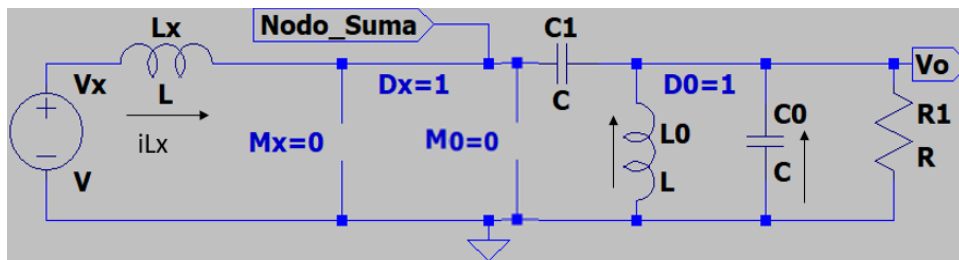


Figura 4 Modo de conmutación $M_x = 0$ o interruptor abierto.

La técnica de control a implementar requiere de una sola ecuación donde se puedan indicar los dos modos de operación, por lo que se procede a definir la variable U_x , que se comportara exactamente igual a M_x , con esta variable U_x se integran la ecuación 1 y la ecuación 2, dando origen a la ecuación 3.

$$V_x = L_x \frac{di_{L_x}}{dt} + (1 - U_x)(v_{c1} + v_{c0}) \quad (3)$$

Donde, U_x toma el valor del modo de conmutación del interruptor.

Despejando el término de la derivada se obtiene la ecuación 4, que refleja el cambio de corriente i_{L_x} según el estado del interruptor M_x que le da valor a U_x .

$$\frac{di_{L_x}}{dt} = \frac{1}{L_x} [V_x - (1 - U_x)(v_{c1} + v_{c0})] \quad (4)$$

Debido a que la fuente de suministro V_x y el inductor L_x siempre se mantienen en serie independiente del estado del interruptor M_x , el inductor nunca se descarga, esto significa que siempre ofrece una corriente promedio no pulsant al llegar a su estado de equilibrio, es decir, la corriente jamás desciende a cero, lo cual se puede ver en la figura 5, debido a ello se aprovecha de una forma más eficiente la energía proveniente de las fuentes de suministro ya que la corriente i_{L_x} se considera la corriente a la entrada del convertidor.

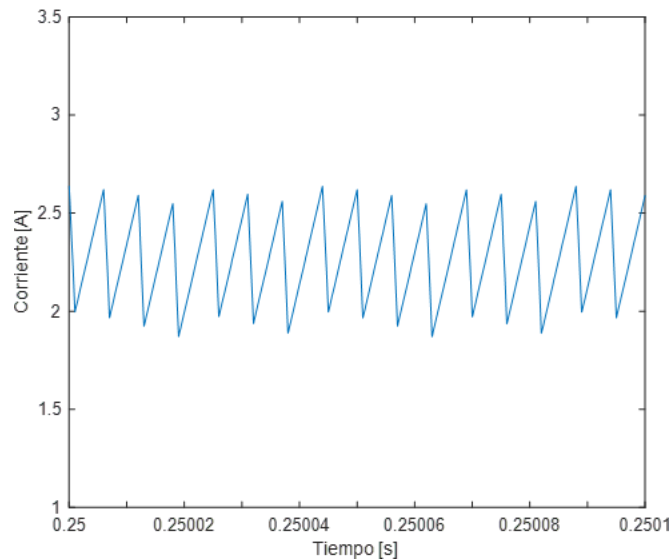


Figura 5 Corriente i_{L_x} o corriente a la entrada de cada Circuito de suministro.

Es importante mencionar que cuando todos los inductores L_X de un Circuito de suministro necesitan cargarse o aumentar su valor de corriente iL_X , el interruptor M_0 del Circuito a la carga se cierra para que se descargue el capacitor C_1 , la decisión del momento en que deben cerrarse los interruptores la toma el control predictivo que se analiza a continuación.

Control predictivo por corriente en L_X

Para realizar el control predictivo se debe conocer la potencia que se desea a la salida del convertidor, y así conocer la potencia que se necesita en la entrada, para un caso ideal, la potencia a la salida P_0 es igual a la potencia a la entrada, bajo esta condición, la potencia necesaria se distribuirá entre el total de fuentes de suministro N que alimenten al convertidor, es decir, a cada fuente de suministro V_X se le demanda la misma potencia P_X , es así como se llega a la ecuación 5.

$$\frac{P_0}{N} = P_X \quad (5)$$

Donde:

- P_0 : Potencia a la salida del convertidor.
- P_X : Potencia suministrada por cada fuente de suministro.
- N : Numero de fuentes de suministro.

La potencia a la entrada P_X se define en la ecuación 6 como el producto del voltaje de suministro V_X por la corriente a la entrada del convertidor iL_X .

$$P_X = V_X i_{L_X} \quad (6)$$

Como se desea una potencia a la entrada P_X constante y el voltaje V_X en las fuentes de suministro se considera constante, entonces se puede controlar la corriente a la entrada iL_X , para que alcance el valor nominal deseado, es decir a una corriente de referencia $Iref_X$, por tanto, se define la ecuación 7, donde la potencia P_X queda expresada en función de una corriente de referencia $Iref_X$.

$$P_X = V_X I_{ref_X} \quad (7)$$

Donde:

- $Iref_X$: Corriente de referencia de cada inductor en el circuito de suministro.

Igualando la ecuación 5 y 7 se despeja la corriente de referencia I_{refX} , llegando a la ecuación 8.

$$I_{refX} = \frac{P_o}{NV_X} \quad (8)$$

Para extraer la potencia necesaria a cada fuente según la corriente I_{refX} se utiliza el control predictivo, para ello la derivada de la corriente a través del inductor i_{L_X} se discretiza usando la aproximación de Euler, la cual se muestra en la ecuación 9.

$$\frac{di_{L_X}}{dt} = \frac{i_{L_X(k+1)} - i_{L_Xk}}{T_S} \quad (9)$$

Donde:

$i_{L_X(k+1)}$: Representa el valor futuro de la corriente.

i_{L_Xk} : Representa el valor actual de la corriente.

T_S : Es el periodo de muestreo, el cual se sugiere sea de 20 veces el periodo de conmutación del diseño del convertidor.

Remplazando la ecuación 9 en la ecuación 4 se obtiene la ecuación 10.

$$\frac{i_{L_X(k+1)} - i_{L_Xk}}{T_S} = \frac{1}{L_X} [V_X - (1 - U_X)(v_{C1} + v_{C0})] \quad (10)$$

Despejando $i_{L_X(k+1)}$ en la ecuación 10, se obtiene una expresión que permite predecir la corriente futura en L_X según los estados posibles de conmutación para cada interruptor M_X , ecuación 11.

$$i_{L_X(k+1)} = \frac{T_S}{L_X} [V_X - (1 - U_X)(v_{C1} + v_{C0})] + i_{L_Xk} \quad (11)$$

Para determinar la corriente futura, la ecuación 11 debe ser evaluada según los estados posibles de U_X , $U_X = 0$ y $U_X = 1$, lo que genera las ecuaciones 12 y 13.

$$i_{L_X(k+1)} = \frac{T_S}{L_X} [V_X - (v_{C1} + v_{C0})] + i_{L_Xk} \quad (12)$$

$$i_{L_X(k+1)} = \frac{T_S}{L_X} [V_X] + i_{L_Xk} \quad (13)$$

El algoritmo de control predictivo será el encargado de determinar el error absoluto que se tenga entre la corriente de referencia I_{refX} y la corriente futura $i_{L_X(k+1)}$ según

los posibles estados de U_x , esta acción la hará conforme a la función de costo definida en la ecuación 14.

$$e_x = |I_{refX} - i_{L_x(k+1)}| \quad (14)$$

Donde:

e_x : Es el error absoluto entre la corriente de referencia y los futuros posibles valores de corriente.

Posteriormente se le indica al sistema que aplique el estado de conmutación con el que se tenga un menor error.

En la figura 6 se observa el diagrama de flujo que describe el control completo del sistema, este proceso se repite cada periodo de muestreo T_s , iniciando en los bloques azules, se hacen las mediciones de los voltajes en los capacitores $C1$ y $C0$, las corrientes en cada inductor de suministro iL_x y los voltajes de cada fuente de suministro V_x , el proceso necesita saber los valores de los inductores L_x , la potencia deseada a la salida P_0 , el número de fuentes posibles n , las constantes va_{Min} y Pa_{min} , que se detallarán más adelante, también se inicializan todas las corrientes de referencia $iref[n]$ y los interruptores $U[n]$ se encuentran abiertos.

Los bloques naranjas tienen como objetivo detectar las fuentes de suministro que aportan energía al sistema, este proceso se realiza evaluando el voltaje medido de la fuentes de suministro que se guarda en el arreglo $v[n]$, por cada voltaje mayor a cero N aumenta en 1, también el valor del contador $cont$, incrementa en valores de 2 elevado a la i , gracias a esto se puede saber el número de fuentes que aportan voltaje y qué fuentes son las que aportan dicho voltaje, si no hay fuentes que aporten voltaje se termina el proceso.

En caso de que el proceso continúe, lo siguiente es definir la potencia P_x que debe aportar cada fuente de suministro, cuando el sistema está inicializando no se le demanda la potencia de salida deseada P_0 , ya que esto provocaría un sobre pico de voltaje en la salida, por ello, primero se le demanda una potencia menor Pa_{min} para que la salida alcance el valor va_{Min} , cuando esto suceda, se le puede demandar al sistema la potencia de salida P_0 deseada. Según la potencia

demandada P_0 o Pamin, serán divididas entre el número de fuentes detectadas N para encontrar la potencia P_x que cada fuente debe aportar. En los bloques morados se calculan las corrientes de referencia $Iref[x]$ que se debe demandar a cada fuente de suministro.

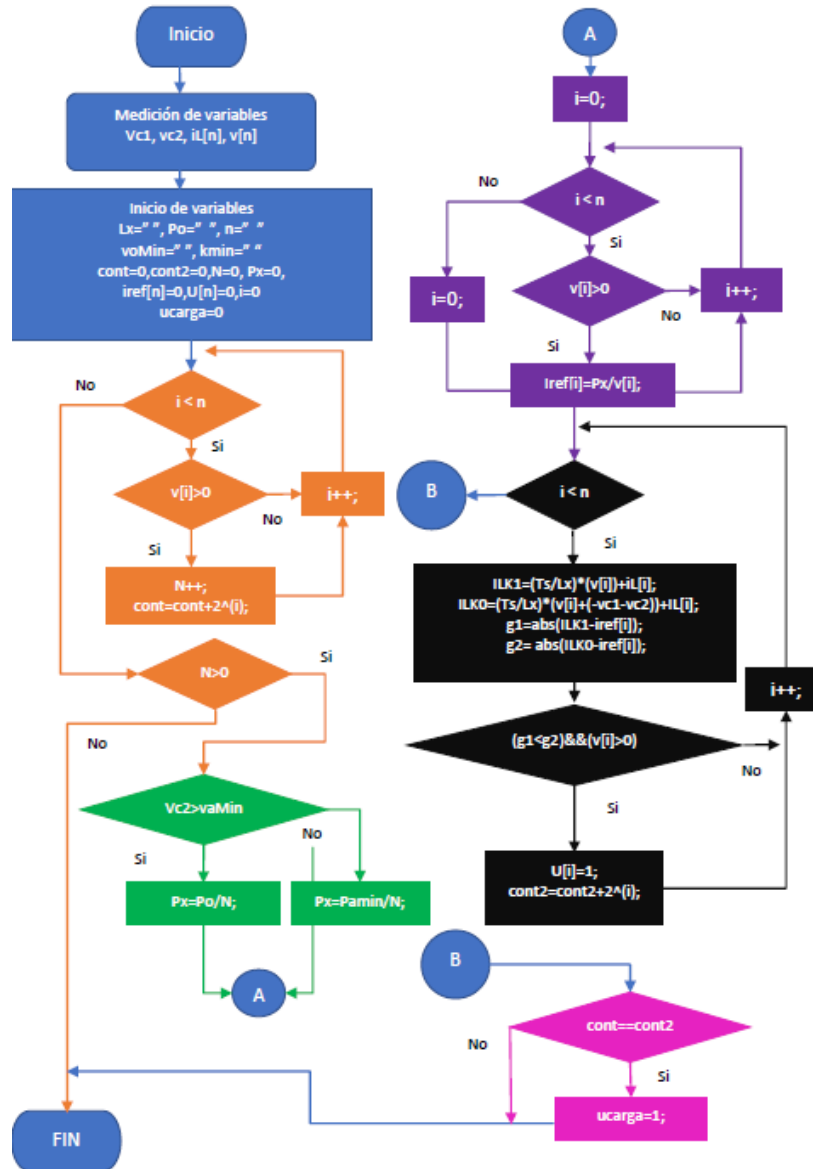


Figura 6 Control general del sistema.

En los bloques negros se lleva a cabo el control predictivo, primero se calculan las corrientes futuras según los posibles estados del interruptor, después se calculan las funciones de costo que comparan las corrientes futuras con la corriente de

referencia $I_{ref}[i]$, posteriormente se comparan las funciones de costo solo si se encuentra una fuente conectada para determinar si es necesario activar el interruptor, en caso de activarse aumentará un contador $cont2$ en un valor de 2 a la i para saber que interruptores se están activando.

Finalmente, en los bloques rosas se compara el contador de las fuentes detectadas $cont$ con el contador de los interruptores activados $cont2$, de ser igual el valor, significa que todos los interruptores de las fuentes detectadas están activados, por lo tanto, se procede también a activar el interruptor del circuito a la carga. Así se llega al fin del control del sistema.

En la figura 7 se puede apreciar el esquema general del sistema que fue simulado en Matlab, está formado por tres fuentes de voltaje, una de ellas constante y las otras dos dependientes para poder simular la conexión y desconexión de éstas al sistema, por cada fuente hay un circuito de suministro conectado al circuito a la carga. En todo el sistema electrónico se encuentran sensores que monitorean los voltajes y corrientes necesarias para aplicar el control predictivo.

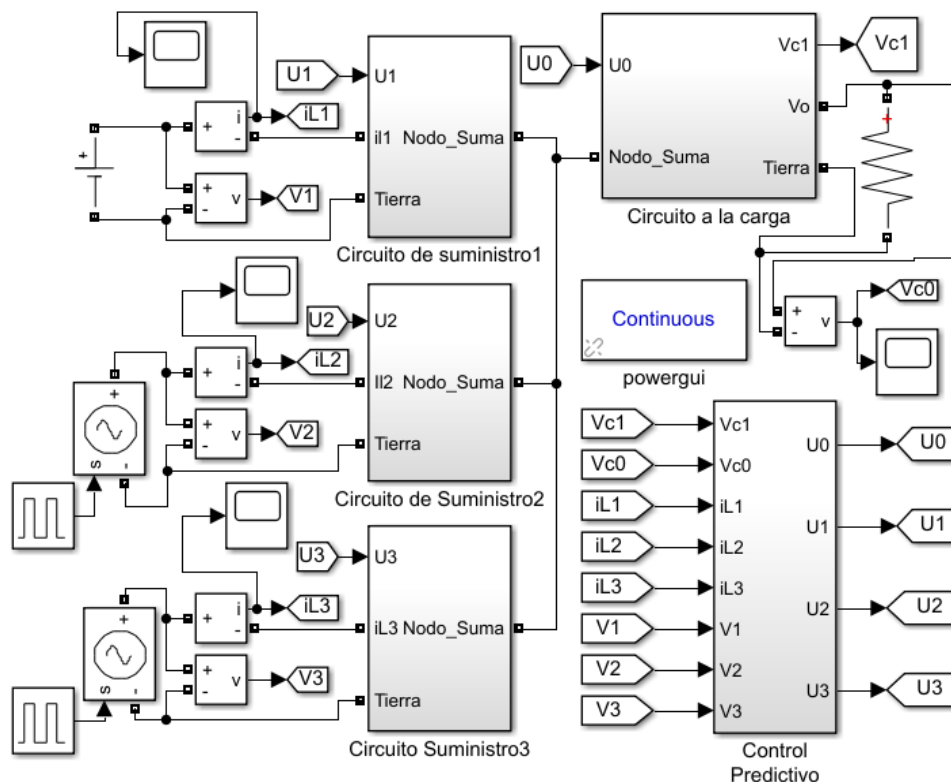


Figura 7 Diagrama general del sistema.

3. Resultados

Para el diseño del convertidor SEPIC con múltiples fuentes de suministro, se utilizó la metodología de cálculo de un convertidor con una entrada y una salida, las diferentes entradas tienen un inductor con el mismo valor, ya que se espera que el convertidor SEPIC que se está proponiendo en este artículo funcione con una, dos o tres baterías simultáneamente, se observa en la tabla 1 los valores de los elementos utilizados.

Tabla 1 Valores de los elementos utilizados en el convertidor.

Elemento	Valor
C1	625 nF
C0	640 uF
L1, L2, L3	40 uH
L0	160 uH
R	20 ohms
V1, V2, V3	5 V
Po	20 W
Vo	20 V

En la simulación la fuente V_1 entrega durante todo tiempo un voltaje constante y permanece activa, la fuente V_2 se activa y se desactiva cada 100 ms, la fuente V_3 se activa y desactiva cada 200 ms, el valor de cada fuente de voltaje cuando se encuentran encendidas es de 5 V, en la figura 8 se observa el comportamiento en el tiempo de las 3 fuentes.

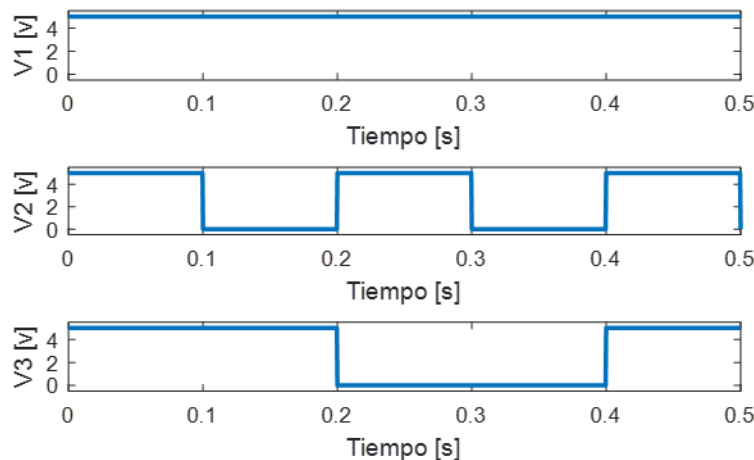


Figura 8 Comportamiento de las fuentes de suministro de energía.

Debido a que las fuentes se activan y desactivan a diferentes tiempos, la demanda de energía se distribuye entre las fuentes que efectivamente estén aportando energía al sistema, debido a ello, el convertidor adapta las corrientes en los inductores para que sean capaces de proporcionar la potencia que se necesita a la salida del convertidor, los cambios en las corrientes de los inductores a la entrada iL_x se aprecian en la figura 9.

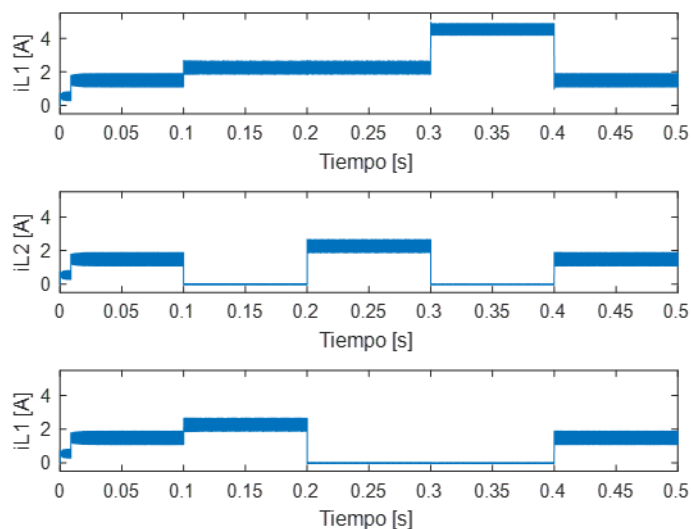


Figura 9 Comportamiento de las corrientes de entrada según las fuentes activadas.

Como el valor de las fuentes, el inductor y la potencia que debe de enviar cada fuente es igual, el valor de la corriente será el mismo para los inductores a la entrada que se encuentren operando, cuando las tres fuentes se encuentran operando el promedio de corriente de cada una es de 1.5 A, con dos fuentes operando, el valor promedio de corriente en cada inductor a la entrada es de 2.3 A, y con una fuente operando en valor promedio de corriente a la entrada es de 4.6 A, esto se resume en la tabla 2.

Tabla 2 Promedio de corriente a la entrada según la cantidad de fuentes operando.

Fuentes operando	Promedio de corriente a la entrada
1	4.6 A
2	2.3 A
3	1.5 A

En la figura 10, se muestra el voltaje a la salida, el cual es prácticamente constante, se presenta una pequeña oscilación cuando se activan o desactivan las fuentes de suministro, se aprecia una ligera elevación en el voltaje cuando solo está trabajando una fuente, el valor de elevación es de 20.3 V, valor cercano al nominal de 20 V.

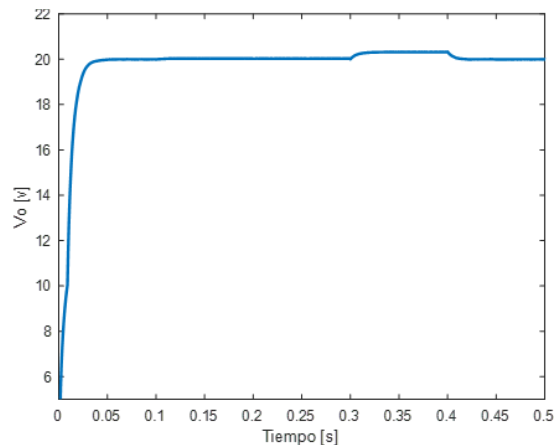


Figura 10 Voltaje a la salida del convertidor.

4. Discusión

Los resultados de simulación mostrados, indican que el convertidor funciona como se esperaba, se tuvo complicaciones en el control, ya que al arrancar el sistema y demandar la corriente necesaria para llegar a los 20 V a la salida se tenía un sobre pico de hasta 37 V, dependiendo de la cantidad de fuentes que iniciaran, esto se solucionó demandando menor potencia de inicio para cargar el circuito, una vez cargado el sistema se le demanda la potencia deseada y no se presentan sobre picos de voltaje.

A pesar de ser un convertidor que puede aceptar múltiples fuentes de suministro, es capaz de funcionar con una sola fuente, ya que el cálculo de los elementos fue diseñado para operar con una sola fuente a la entrada. Como un trabajo a futuro se analizará hasta cuantas fuentes de suministro el sistema puede operar de forma correcta, ya que una de las carencias del control predictivo es su alto costo computacional y por cada nueva fuente de suministro se amplía la cantidad de cálculos, de momento el seguimiento de las corrientes a la entrada fue óptimo, ya que siempre se tiene la potencia deseada a la salida.

En la simulación se entiende que los elementos son ideales, por esa razón se tiene la misma potencia a la entrada que a la salida.

El periodo de muestreo juega un papel muy importante, se hicieron pruebas con un periodo de muestreo de 10 veces menor al periodo del diseño del convertidor, pero no fue tan eficiente la simulación. El periodo de muestreo para esta simulación fue de 20 veces menor al periodo del sistema.

5. Conclusiones

El control de este convertidor se diseñó bajo el principio de balance de potencias, donde la potencia a la entrada es igual a la potencia de salida, al tener múltiples fuentes de suministro se condicionó a que se distribuya la potencia de forma proporcional.

Una ventaja de establecer múltiples fuentes de suministro es que se puede dar el mantenimiento a una fuente sin la necesidad de interrumpir el suministro de las restantes, incluso, se podrían conectar bancos de fuentes de suministro a cada rama del convertidor.

El convertidor SEPIC aprovecha la energía proveniente del sistema de una forma eficiente, al menos de forma ideal no se observaron pérdidas de potencia, la potencia suministrada es la potencia que se tenía a la salida.

La técnica de control predictivo funcionó correctamente al convertidor SEPIC de múltiples entradas, por lo que se considera que los resultados de simulación son suficientes para armar un prototipo de prueba en la continuación de la investigación.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Aliaga, Rodrigo, Muñoz, Javier, Rojas, Diego, Villalón, Ariel, Troncoso, José, Predictive Control of a Buck Converter for Photovoltaic Energy: An Experimental Implementation, IEEE, 2019.
- [2] Sana Sahbani, An Improved MPPT Controller for Photovoltaic System Based on Predictive Current Control, IEEE, 2019.
- [3] Valle Rodríguez, Jesús, Análisis y diseño de un controlador para un convertidor dc-dc tipo SEPIC, UPC, 2014.

- [4] Alvarez, Alfredo, Diseño y simulación de un convertidor CD-CD de múltiples entradas para su aplicación en vehículos eléctricos, Tecnológico Nacional de México en Celaya, 2019.
- [5] Chan, Freddy, Álvarez, Jesús, Sánchez, Víctor, Pacheco, Daniella, Espinoza Diego, Análisis e implementación de un Convertidor Boost Multientrada para aplicaciones en fuentes de energías renovables, Revista Ingeniantes, 2017.
- [6] Khadem, Saeideh, Sajjad, Tohidi, Mohammad, Reza, Mehran, Sabahi, Design and analysis of a novel SEPIC-based multi-input DC/DC converter, IET, 2017.
- [7] Lara, Gabriela, Vázquez, Nimrod, Hernández, Claudia, López, Héctor, Arau, Jaime, Convertidor CD/CD multi-entrada con respaldo de baterías para aplicaciones renovables, Pistas Educativas, 2017.
- [8] Ramos Hernanz, José Antonio, Optimización de modelos de módulos fotovoltaicos y del control del mppt, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea, 2017.
- [9] Saeideh Khadem, Sajjad Tohidi, Mohammad Reza, Mehran Sabahi, Design and analysis of a novel SEPIC-based multi-input DC/DC converter, IET, 2017.
- [10] Villanueva Loredo, Juan Antonio, Regulador de voltaje basado en un convertidor SEPIC con una celda de inductores conmutados, Publicaciones Científicas Control y Sistemas Dinámicos, 2018.