



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



OPTIMIZACIÓN DEL MÓDULO CONVERTIDOR CC-CC ELEVADOR PARA INDUSTRIAS 4.0

Henry William Peñuela Meneses, María Elena Leyes Sánchez

**Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia**

Resumen

En términos de la cuarta revolución, se establece que los diseños de herramientas didácticas para la enseñanza deben estar orientados hacia la formación en desarrollo de soluciones en software y sistemas de análisis, capaces de mejorar la recepción de datos producidos por los entornos inteligentes.

Se convierte entonces en un reto garantizar desde la academia, la posibilidad de recrear en escenarios de práctica la adopción de conceptos de eficiencia y flexibilidad en la ejecución de las diversas soluciones. El grupo de investigación MECABOT, en una de sus líneas de profundización, enmarcado en Industrias 4.0, establece el diseño mecatrónico como factor determinante en el proceso de atender los requerimientos del sector productivo, en una línea tan amplia como la electrónica industrial.

La capacitación de los estudiantes del programa es un desafío continuo, en búsqueda de añadir mejoramiento en las comunicaciones y tecnología de recolección de datos para sus procesos. Es por esto por lo que se presenta como avance en investigación, la optimización del módulo convertidor CC-CC elevador. La optimización de desarrollos realizados por los estudiantes es sin lugar a duda, el momento más importante en el aula, pues se evidencia la transformación del conocimiento y la apropiación de nuevas directrices que van evolucionando conforme se dan los adelantos tecnológicos en las diversas áreas.

Palabras clave: industrias 4.0; mecatrónica; convertidor CC

Abstract

In terms of the fourth revolution, it is stated that the design of didactic tools for teaching should be oriented towards training in the development of solutions in software and analysis systems, capable of improving the reception of data produced by intelligent environments.

It then becomes a challenge to guarantee from the academy the possibility of recreating in practice scenarios the adoption of concepts of efficiency and flexibility in the execution of the various solutions. The research group MECABOT, in one of its lines of deepening, framed in Industries 4.0, establishes the mechatronic design as a determining factor in the process of meeting the requirements of the productive sector, in such a broad line as industrial electronics.

The training of the students of the program is a continuous challenge, in order to add improvement in communications and data collection technology to their processes. This is why the optimization of the CC-CC elevator converter module is presented as a research breakthrough. The optimization of developments made by students is without a doubt, the most important moment in the classroom, the transformation of knowledge and the appropriation of new guidelines that are evolving as the technological advances are given in the different areas.

Keywords: industries 4.0; mechatronics; cc converter

1. Introducción

En la actualidad, el sector productivo hace uso de forma continua de la energía eléctrica, razón por la cual, debe inspeccionarse aquellos sistemas en los cuales se exhiben montajes implementados a partir de la electrónica de potencia, poniendo de manifiesto su aplicación, en la medición de variables que combinen la potencia, la electrónica y el control, específicamente en características de estado estable y dinámicas de sistemas de lazo cerrado. En la concepción industrial se determina que los indicadores de potencia relacionan el equipo estático y el rotatorio se considera para la generación, la transmisión y distribución. Otras consideraciones especiales, es reconocer la utilización de circuitos de estado sólido para el procesamiento de las señales en la información que se desea controlar.

Los convertidores CC-CC poseen numerosas configuraciones, en donde se conocen: el convertidor elevador (boost), el convertidor reductor (buck) y el convertidor reductor-elevador (buck-boost). Se entiende entonces, que se hace necesario estudiar factores tan importantes como la frecuencia de conmutación, ya que de esta depende la eficiencia del convertidor.

Con el avance de la tecnología y la apropiación que se busca en el manejo acorde con la cuarta revolución industrial, se han podido desarrollar cada día mejores elementos de conmutación lo que hace posible su implementación en diversas aplicaciones.

Con la conceptualización como líneas de profundización del programa en Industrias 4.0, y más específicamente en la parte de la automatización de procesos industriales, se busca optimizar los

diferentes entrenadores que en este particular, puede ayudar a la didáctica en el conocimiento, afianzando las competencias, mediante la experimentación con modelos ajustados a la realidad manejada en el sector productivo.

Desde el grupo de investigación MECABOT, se desea dar solución a las posibles falencias u obsolescencias que pueden mostrar los equipos didácticos y así, realizar una potencialización de estos, orientados a fortalecer y apoyar las asignaturas en esas áreas de formación. El objetivo general será entonces adecuar el módulo convertidor CC-CC elevador con implementación de algunos recursos requeridos en industrias 4.0.

2. Diseño mecatrónico del módulo convertidor CC-CC.

Los convertidores CC-CC convierten una tensión continua en otro nivel de tensión continua, donde generalmente se puede proporcionar una salida regulada. Los convertidores CC se podrían considerar con la semejanza de los transformadores CA, ya que se usan para subir y bajar el voltaje de la fuente.

Estos convertidores tienen variadas aplicaciones tales como: fuentes de poder en computadoras, sistemas de potencia en vehículos eléctricos, etc. Las configuraciones más esenciales son: reductor (Buck), elevador (Boost), Reductor-elevador (Buck-Boost). Las configuraciones mencionadas anteriormente llevan 4 elementos básicos: inductor (L), capacitor (C), diodo y un interruptor controlado; así los 4 componentes mencionados anteriormente, permitirán dependiendo de su ubicación, características distintas en el circuito.

Modelo del convertidor Boost

Para el diseño del convertidor CC-CC elevador, se desarrolla un modelo dinámico del sistema como objetivo inicial, fundamentado en las leyes de Kirchhoff, aplicándose para cada estado del circuito del convertidor. Se utiliza una técnica que le denominan "modelo en pequeña señal", que consiste básicamente a un equivalente lineal, que responde a pequeñas perturbaciones.

Diseño del convertidor CC-CC BOOST

Para el diseño del sistema se determinan los parámetros principales de los cuales consta el convertidor CC-CC elevador. A continuación, se presentan los parámetros de diseño respectivo:

Parámetro	Ecuación
Ciclo de trabajo k	$k = \frac{V_o - V_s}{V_o}$
Corriente de rizo pico a pico ΔI	$\Delta I = \frac{V_s k}{fL}$
Corriente promedio a la entrada I_s	$I_s = \frac{I_o}{1 - k}$
Corriente pico del inductor I_2	$I_2 = I_s + \frac{\Delta I}{2}$
Voltaje pico a pico de capacitor ΔV_c	$\Delta V_c = \frac{I_o k}{fC}$
Valor critico de inductor L_c	$L_c = \frac{k(1 - k)V_o}{2fI_o}$
Valor critico de capacitor C_c	$C_c = \frac{kI_o}{2fV_o}$

Tabla 1: Parámetros de Diseño

Donde:

I_o : Corriente en la carga

V_s : Tensión de alimentación

V_o : Tensión de carga

f : Frecuencia de conmutación

Con la información anterior, se diseña dos convertidores elevadores con distintas cargas. A continuación, se muestran las especificaciones de diseño para los dos convertidores:

Variable	Convertidor 1	Convertidor 2
Tensión de alimentación (V_s)	12 [V]	12 [V]
Tensión de carga (V_o)	18 [V]	24 [V]
Frecuencia de conmutación (f)	31370 [Hz]	31370 [Hz]
Corriente en la carga (I_o)	0,015 [A]	0,075 [A]
Inductor (L)	8,83 [mH]	8,83 [mH]
Capacitor (C)	220 [μ F]	220 [μ F]

Tabla 2: Especificaciones de diseño para los convertidores.

Las simulaciones de los convertidores con distintas cargas se realizaron en el software OrCAD Capture; con el objetivo que la simulación se ejecute con referencias de componentes comerciales. Carga del convertidor elevador

Para el convertidor elevador se utilizan dos cargas inductivas (motores DC). Dicha carga está disponible en el laboratorio para permitir el análisis del comportamiento del sistema ante estas cargas inductivas.

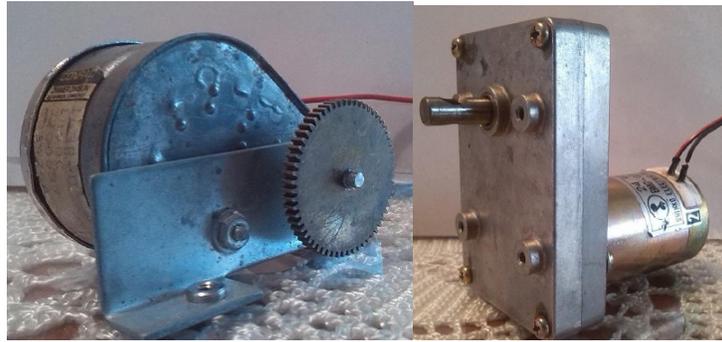


Figura 1. Carga inductiva

Prototipo del convertidor elevador

Para esta implementación se utiliza *mega2560*, que permite una salida de PWM para la compuerta del *MOSFET*. La prueba se realiza con el sistema en lazo abierto para las pruebas iniciales de funcionamiento.

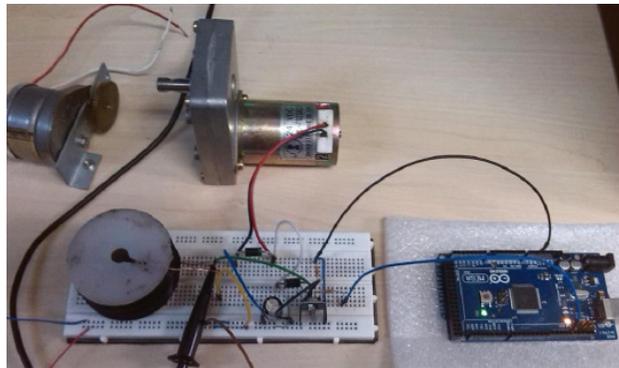


Figura 2. Sistema de lazo abierto para el convertidor elevador.

Diseño del controlador

Para el diseño del controlador, se establece el análisis de las funciones de transferencia, partiendo del modelo lineal y se procede a desarrollar la transformada de Laplace de las ecuaciones aplicando sobre ellas la técnica de control.

Dicha información es simulada a través del software MATLAB, donde se desarrolla el análisis del sistema en tiempo discreto y se obtienen las funciones de transferencia, el objetivo es calcular y sintonizar las constantes que componen el controlador PI para el convertidor CC-CC elevador.

En Simulink se hace el diagrama de bloques en lazo cerrado, acoplando el controlador PI.

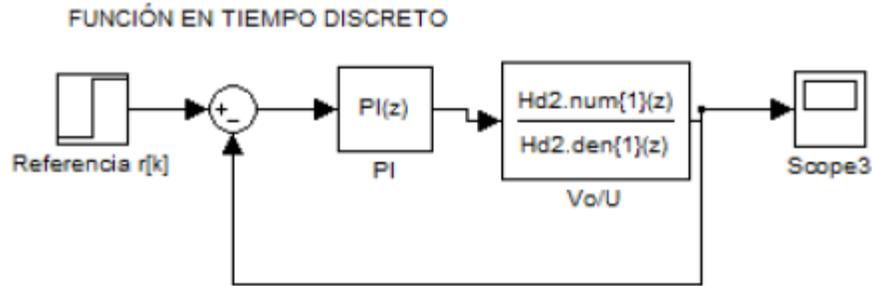


Figura 3: Diagrama de bloque lazo cerrado en tiempo discreto.

3. Construcción del prototipo y resultados

Para la construcción del módulo convertidor CC-CC elevador, se utiliza una caja rectangular usada para acometida eléctrica, la caja es de plástico para aislar los cables y tiene una seguridad IP 56. La tapa del módulo lleva un adhesivo con el diagrama de conexión y las borneras. El diseño del adhesivo para la tapa se plastifica para evitar la suciedad y la posible caída de algún líquido averiando el esquema. En su interior se encuentra

Se utiliza un Multímetro digital de marca PrósKit, como módulo de instrumentación que permite medir frecuencia, duty cycle, voltaje, resistencia, entre otras variables.



Figura 4. Prototipo del convertidor CC-CC elevador

Los desarrollos teóricos fueron verificados por medio de simulaciones y pruebas experimentales, todos basándose en el modo de conducción continua. Los resultados demuestran que la dinámica del sistema en lazo cerrado mejora el funcionamiento del convertidor, donde se corrige el ciclo de trabajo para que su señal permanezca suave, sin cambios bruscos en el ancho de pulso.

Se analiza la verificación del error en estado estable, para comprobar la calidad del controlador en el convertidor CC-CC elevador, frente a las cargas del sistema.

4. Optimización del dispositivo enfocado en las industrias 4.0

Para dar solución a estos requerimientos de la industria y con el fin de mantener la vanguardia en la actualización de tecnología, aplicada en el mismo programa de formación, se optimiza un modelo ya propuesto y desarrollado por estudiantes, pero con ajustes a las nuevas tecnologías en la entrega de datos y su posterior análisis que sirvan de insumo para desarrollos industriales.

El programa de Ingeniería Mecatrónica apropia la Industria 4.0 en cada contenido y en la nueva directriz de investigación, desarrollando temas relacionados con las tecnologías y aplicaciones que se derivan de la cuarta revolución, pero también buscando la optimización de las herramientas didácticas en el aula, con el fin de preparar al estudiante hacia lo que se vive en su entorno.

La relación de la Industria 4.0 con las líneas de investigación, se presenta debido a los diferentes escenarios, en los cuales la mecatrónica debe estar presente y por lo tanto, la oportunidad para que los estos profesionales apliquen las nuevas pautas, con el fin de transformar las realidades industriales locales, actualizando el aparato productivo y cerrando las brechas tecnológicas. Algunas oportunidades de aplicación están en el sector Industrial, la Metalmecánica, la Agroindustria y la Educación.

La optimización del diseño de convertidores CC-CC, se realiza a través de planteamientos acerca de la revisión de la topología conocida en el dispositivo, haciendo un efectivo ajuste en el manejo de rizados por corriente - voltaje y estabilidad del sistema. Toda actualización, se evidencia a partir del mejoramiento de la función no lineal con restricciones no lineales.

En el entorno industrial, los procesos productivos buscan el mejoramiento de la calidad de energía, es apreciable que los motores de inducción representan un elevado porcentaje en el consumo energético actual, es así como se desea tener un buen desempeño, para el requerido acople de la maquinaria, todo este manejo se realiza a través de la incorporación de variadores de velocidad. Con su alistamiento dentro del proceso, se crean situaciones energéticas poco aceptables, como por ejemplo la presencia de armónicos. Se recomienda entonces, para mejorar este escenario la inclusión de convertidores de corriente alterna a corriente directa, los cuales garantizan evitar las pérdidas por inducciones.

5. Conclusiones

- El cálculo del modelo dinámico que se desarrolla cumple con el objetivo del proceso matemático, ya que los análisis realizados por software demostraron que el sistema evidencia estar apropiadamente linealizado por la aproximación de la expansión por series de Taylor.
- Al examinar las simulaciones de las funciones de transferencia obtenidas a partir de las ecuaciones diferenciales; su correspondiente diagrama de bloques en Simulink, muestra un correcto funcionamiento del controlador sintonizado con la ayuda de MATLAB, determinando que el modelo en pequeña señal del convertidor, permite inspeccionar el

comportamiento del circuito de una manera muy general, pero sin perder la naturaleza del convertidor CC-CC.

- La incorporación en la industria de este tipo de dispositivos pone manifiesto la innovación en procesos, pudiendo ofrecer mejores resultados en gasto energético, que utilizando los variadores de velocidad.

6. Referencias

- Bacha, S., Munteanu, I., & Bratcu, A. I. (2014). Power electronic converters modeling and control. *Advanced textbooks in control and signal processing*, 454, 454.
- Sanabria, C., Martín, M., Campuzano, J., & Pérez, W. J. (2013). Modelo de simulación con pérdidas y estrategia de control pid para el convertidor buck. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 2(22).
- Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2007). *Fundamentals of power electronics*. Springer Science & Business Media.
- Malo, S., & Grinó, R. (2005). Análisis y diseño de controladores lineales para el convertidor elevador ("boost") bidireccional en corriente. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Castillo-Pérez, M. A., & Rodríguez-Godínez, A. U. (2015). Power Supply and Cooling System of Warehouse Crops from Renewable Energies.
- Mohan, N., & Undeland, T. M. (2007). *Power electronics: converters, applications, and design*. John wiley & sons.
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación.
- Rashid, M. H. (2004). *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación.
- Torres, C. A., Restrepo, C., & Alzate, A. (2009). Consideraciones de diseño estático y dinámico para convertidores CC-CC. *Scientia et technica*, 2(42).
- Valderrama, F. F., Moreno, H., & Vega, H. M. (2011). Análisis, simulación y control de un convertidor de potencia DC-DC tipo boost. *Ingenium*, 12(24), 44-55.

Sobre los autores

- **Henry William Peñuela Meneses**. Ingeniero Electricista, Máster en Instrumentación Física. Profesor Facultad de Tecnología. Integrante del Grupo de Investigación MECABOT, Semillero de Investigación MECABOTICA. Universidad Tecnológica de Pereira tesla@utp.edu.co
- **María Elena Leyes Sánchez**. Ingeniero Electricista, Doctor© en Ciencias de la educación, Máster en Instrumentación Física. Profesor Facultad de Tecnología y Facultad de Ciencias Básicas. Integrante del Grupo de Investigación MECABOT, Semillero de Investigación MECABOTICA. Universidad Tecnológica de Pereira. mleyes@utp.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)