

Hacia una plataforma de control digital múltiple para convertidores de energía eléctrica

Espino Martínez Héctor

Instituto Tecnológico de Celaya - Dpto. de Ingeniería Electrónica. Av. Tecnológico y A. García-Cubas s/n,
Col. FOVISSSTE, C.P. 38010 - Celaya, Gto. – México, Tel. (+52) 461 662 5163 ó 64
hectorin.espino@hotmail.com

Elías José Juan Rodríguez Segura

Instituto Tecnológico de Celaya - Dpto. de Ingeniería Electrónica. Av. Tecnológico y A. García-Cubas s/n,
Col. FOVISSSTE, C.P. 38010 - Celaya, Gto. – México, Tel. (+52) 461 662 5163 ó 64
elias.rodriguez@itcelaya.edu.mx

José Alfredo Padilla Medina

Instituto Tecnológico de Celaya - Dpto. de Ingeniería Electrónica. Av. Tecnológico y A. García-Cubas s/n,
Col. FOVISSSTE, C.P. 38010 - Celaya, Gto. – México, Tel. (+52) 461 662 5163 ó 64
alfredo.padilla@itcelaya.edu.mx

Alejandro Espinosa Calderón

Instituto Tecnológico de Celaya - Dpto. de Ingeniería Electrónica. Av. Tecnológico y A. García-Cubas s/n,
Col. FOVISSSTE, C.P. 38010 - Celaya, Gto. – México, Tel. (+52) 461 662 5163 ó 64

Natalia de Jesús Nila Olmedo

Laboratorio de Investigación en Control Reconfigurable A.C. Ernesto Perrusquía No. 30, Col.
Constituyentes del Parque, C.P. 76147 – Querétaro, Qro. – México. Tel. (+52) 442 962 0105
n.nila@licore.org

Resumen

Según el Institute of Electric and Electronic Engineers (IEEE) [14], el surgimiento de nuevos métodos para administrar la energía eléctrica tiene como objetivo principal el lograr un equilibrio sustentable de los recursos no renovables del planeta.

En este documento se presenta una iniciativa para diseñar un control inteligente para la administración de recursos energéticos eléctricos. Se propone la implementación de una microred para tener una mejor administración de estos recursos. Se abordan temas como el potencial de determinados dispositivos digitales de control, como los Field Programmable Gate Arrays (FPGAs), que permiten procesamiento en paralelo de la información. Dentro de los FPGAs se explora la tecnología ARM, la cual es una arquitectura de procesadores RISC de 32 bits desarrollada por ARM Limited, que es ampliamente empleada en sistemas integrados.

Se comenta también sobre el protocolo de comunicaciones CAN, el cual tiene potencial para este proyecto. Finalmente se habla sobre el uso de los convertidores eléctricos y sus posibles topologías. Puntualmente se planea desarrollar un convertidor CD-CD bidireccional.

El objetivo general del proyecto propuesto será probar que las plataformas FPGA, tal vez usando el ARM, son capaces de controlar convertidores de energía y mantener comunicaciones entre sí simultáneamente.

Palabras Claves: Administración, CAN, Convertidores CD-CD, *Field Programmable Gate Array* (FPGA), Micro-red, ARM.

1. Introducción

Actualmente existe la necesidad de ahorrar energía y optimizar los procesos y recursos de almacenamiento y conversión de la misma para las distintas necesidades del mundo. Cada vez con mayor frecuencia se habla de fuentes alternativas para ser amigables con el medio ambiente. Por igual se busca que los equipos que demandan un consumo eléctrico utilicen menos energía para funcionar y sean más eficientes, logrando así un efecto benéfico en la relación costo-beneficio. Considerando puntualmente los dispositivos reguladores de voltaje, resulta de suma importancia lograr en la salida una señal de calidad para que las cargas que demanden esta energía funcionen de manera correcta.

Actualmente han crecido las necesidades de crear redes y de intercomunicar distintos sistemas electrónicos para poder monitorear y lograr una administración inteligente de los recursos presentes en un sistema global. De acuerdo a estas necesidades energéticas las micro redes han surgido para ser una parte de la solución debido a su versatilidad en el manejo de recursos.

Desde el punto de vista de las telecomunicaciones, una micro red es un sistema electrónico o computacional basado en establecer mecanismos de interacción entre un dispositivo maestro y otros esclavos, con lo cual se ahorra dinero y se obtiene mayor funcionalidad de cada subsistema [2]. Las redes proyectan traer beneficios en la generación y distribución de la energía, principalmente en las plantas generadoras y sus subestaciones. La principal ventaja en el diseño de este tipo de redes es que una vez comprobado su correcto funcionamiento resulta fácil replicarlas y poder lograr una amplia compatibilidad a nivel técnico y comercial.

Las micro redes han tenido una proliferación principalmente en países europeos y Norteamérica, donde cada vez más se tiende a automatizar procesos y servicios. En México su desarrollo aún no es amplio, debido principalmente a los altos costos para el público en general y su poca difusión [1, 2, 6, 7, 8, 9, 10].

El esquema de una micro red es parecido al de una célula, donde existe un núcleo central, el cual es el encargado de coordinar las funciones del resto de los subsistemas del entorno mediante protocolos previamente definidos (Ver Fig. 1).



Fig. 1. Diagrama ilustrativo de la una micro-red vista como célula.

1.1 Microredes

Las microredes se clasifican en redes de electrónica de potencia y redes de telecomunicaciones [1]. Las cuales son empleadas con el objetivo de tener una mejor administración de los recursos en tiempo real y de manera dinámica. Estos sistemas incluyen diversos subsistemas entre los cuales se tienen sistemas de control y ponencia, los cuales son enlazados por acopladores de señales. Además, cada subsistema se encuentra comunicado por algún protocolo de intercambio de información.

1.2 Control de una microred

En las redes en telecomunicación el control es digital, limitando las etapas analógicas a realizar tan sólo labores de acondicionamiento y adaptación de señales. Para la administración de la red de energía se pueden emplear metodologías analógicas o digitales, aunque en la actualidad, la tendencia es a digitalizar prácticamente todo el proceso y que en función de algoritmos establecidos se deleguen las responsabilidades de mando [3].

1.3 Controlador de módulos convertidores de energía

En relación al control analógico se suelen utilizar topologías para realizar funciones como la elevación o reducción de voltaje. Para estos fines se suelen implementar filtros con arreglos resistivo-capacitivos para poder limitar parámetros en el sistema, tales como la ganancia y el ancho de banda [12].

En cuanto al control digital, se pueden utilizar microprocesadores y microcontroladores, entre otros sistemas digitales, para realizar las labores de procesamiento y toma de decisiones.

1.4 Comunicación en las microneces

Para enlazar todos los subsistemas de una micro red existen varios protocolos de comunicación. El uso de uno u otro depende de la implementación que se desee emplear, además de otras variables como el tamaño de la célula a intercomunicar y qué tan crítico es el tiempo de transmisión [9]. Existen algunos protocolos de comunicación que permiten intercambiar parámetros importantes entre diferentes sistemas, o bien pasar a un subsistema las labores que se deben desempeñar en un momento específico en la realización de un proceso. Un protocolo de comunicación muy conocido y difundido en la actualidad es la tipo CAN (*Controller Area Network*, por sus siglas en inglés). Este protocolo emplea un bus multiplexado y coordinado entre un sistema maestro y varios esclavos (Ver Fig. 2) [4].

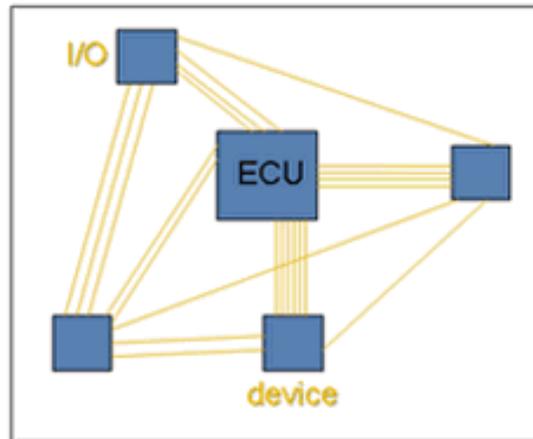


Fig. 2. Diagrama de una micro-red sin CAN.

1.5 Convertidores de Energía

Existen básicamente cuatro tipos de convertidores de Corriente Directa (CD) y Corriente Alterna (CA): CD-CD, CA-CA, CD-AC y AC-CD. Ejemplos comunes son: de los CD-CD, una fuente conmutada; para los CA-CA, los ciclo convertidores; de los CD-CA, los inversores; y de los AC-CD, las fuentes de voltaje.

En este proyecto, puntualmente se sugiere implementar un convertidor CD-CD puente completo con corrimiento de fase en modo bidireccional, con lo cual se tendrá un control en dos buses de voltaje, cada uno con su respectivo valor nominal [11]. Se escogió este convertidor ya que la energía en corriente directa tiene muchas aplicaciones de manera cotidiana.

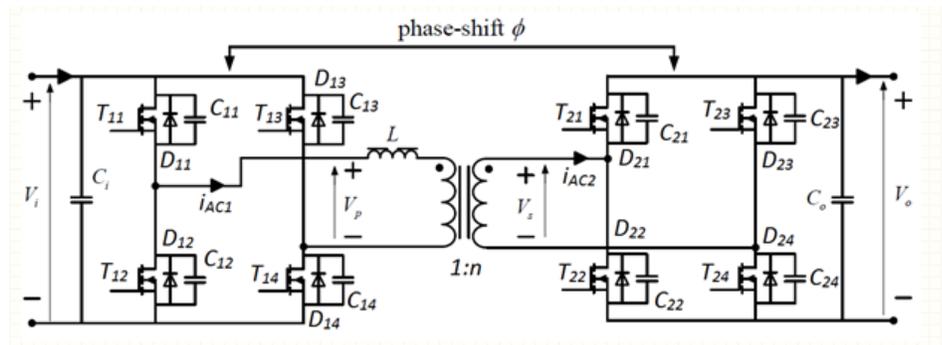


Fig. 3. Topología general de un convertidor CD-CD bidireccional.

En este documento se presenta una iniciativa para diseñar una plataforma para el control digital múltiple de convertidores eléctricos. La unión de varios convertidores generará una microred eléctrica que podrá ser administrada por estos sistemas inteligentes.

2. Objetivo

Puesto que este proyecto está en sus primeras etapas, este documento pretende mostrar qué decisiones se han ido tomando para lograr desarrollar una plataforma digital de control de convertidores de energía eléctrica en un plazo no mayor a 2 años. Se espera que esta plataforma pueda incorporarse posteriormente a sistemas de micro redes.

Entonces, se hizo un análisis comparativo de las ventajas y desventajas de:

- Dispositivos digitales de control.
- Protocolos de comunicación.
- Sistemas convertidores de Energía Eléctrica.

Todos estos elementos fueron expuestos en la introducción de este artículo. En la siguiente sección se discutirá sobre cuáles fueron los elementos seleccionados.

3. Resultados: selección de elementos del proyecto

- 1.1 En relación a las microredes se plantea implementar una red con relación al plano de telecomunicaciones aunque se va a controlar como meta principal una red de convertidores.
- 1.2 El control general de la red será implementado de forma digital, ya que como se ha visto en la actualidad existen herramientas que facilitan esta labor.
- 1.3 En un caso específico, para el control de la red se ha decidido implementar esta etapa con un dispositivo FPGA, puesto que se tienen más ventajas en el proceso (Ver 1.1 en apartado “discusión”).
- 1.4 Para la comunicación entre los sistemas de control, se decidió realizar una interfaz vía comunicación CAN, debido a que plantea algunos beneficios mencionados más adelante (Ver 1.2 en apartado “discusión”).
- 1.5 Finalmente para la selección del convertidor se ha decidido optar por los del tipo CD-CD, debido a que por cuestión de tiempo de diseño se ajustan de mejor manera a los tiempos establecidos (Ver 1.3 en apartado “discusión”).
- 1.6 En relación a CAN, dado que existen en el mercado microcontroladores que incorporan el protocolo en su esquema, puede implementarse modo más fácilmente la interfaz entre los módulos de control. Microchip ofrece una línea completa de productos para satisfacer las necesidades de alto rendimiento en aplicaciones embebidas utilizando este protocolo incluyendo 8 bits, microcontroladores de 16 y 32 bits, y controladores de señal digital de 16 bits (DSCs) con CAN integrada [5].

4. Discusión

1.1 FPGA y ARM

Estos sistemas resultan ser relativamente baratos y son más versátiles y poderosos que los microprocesadores convencionales y los DSP [3].

Los FPGAs generalmente vienen en una tarjeta con varios recursos físicos y electrónicos, tales como puertos de entrada y salida, convertidores analógico-digital-analógico y algunos otros como interfaces de audio y video, lo cual los hace ser una herramienta más

poderosa. La principal ventaja de estos sistemas es que pueden procesar información y señales de manera paralela, lo cual agiliza la toma de decisiones del sistema, teniendo así una mejor administración.

En cuanto a los dispositivos ARM estos dispositivos han adquirido gran popularidad debido a que con ellos se puede reducir el tamaño de un sistema de control así como su velocidad y de procesamiento, con un consumo bajo de energía[13].

1.2 Principales características de CAN

CAN se basa en el modelo productor/consumidor, el cual es un concepto, o paradigma de comunicaciones de datos, que describe una relación entre un productor y uno o más consumidores. CAN es un protocolo orientado a mensajes, es decir la información que se va a intercambiar se descompone en mensajes, a los cuales se les asigna un identificador y se encapsulan en tramas para su transmisión. Cada mensaje tiene un identificador único dentro de la red, con el cual los nodos deciden aceptar o no dicho mensaje [4].

1.3 Esquema de micro red a desarrollar

Podemos citar este esquema para ejemplificar una aplicación de una micro-red, en la cual observamos que existen dos módulos de control enlazados y comunicados con el protocolo CAN, además tenemos cuatro módulos de conversión corriente directa-directa (Ver Fig. 4) [3]. Gracias a este esquema se puede tener acceso a dos niveles de voltaje constantes, logrando una administración mejor, generando menos pérdidas en la red de CD.

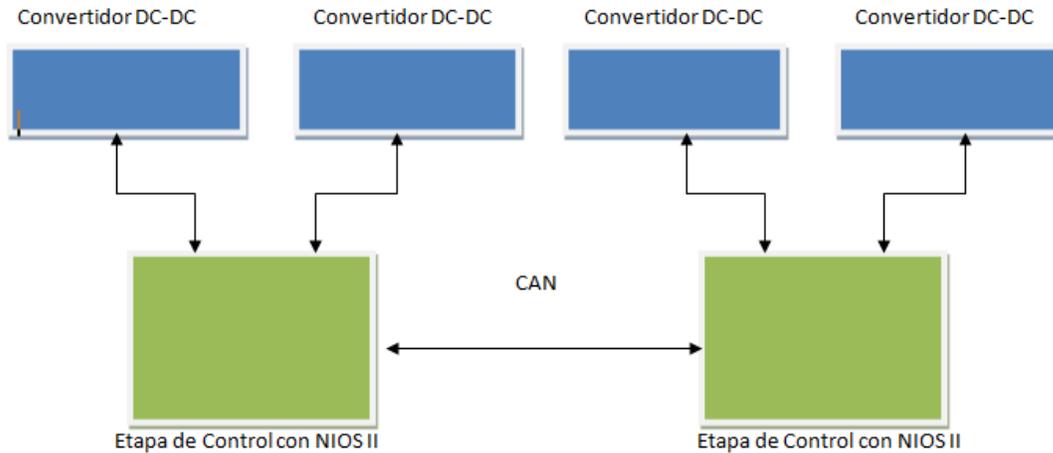


Fig. 4. Diagrama ilustrativo de la implementación propuesta en la tesis.

Es importante mencionar que este esquema está propuesto como prototipo experimental para una tesis de maestría, en la cual se pretende comprobar las ventajas que tiene el control digital con un microprocesador embebido en un FPGA.

La importancia de redes como ésta están respaldadas por la IEEE en algunas publicaciones recientes, tal como la titulada "The Grid of the future" de la revista "Power & Energy" del mes de mayo-junio del 2014 [14].

5. Conclusiones

En este documento se describe cómo se seleccionaron los dispositivos y protocolos que se creyeron más convenientes para el posterior desarrollo de una plataforma digital de control de convertidores de energía eléctrica. Sin embargo éstos podrían cambiar, dependiendo de los obstáculos que se presenten en su desarrollo.

Dadas las características técnicas de los dispositivos seleccionados se espera que con ellos se pueda diseñar una plataforma que permita el control simultáneo de diversos

convertidores de energía eléctrica, junto con su intercomunicación. Esto dará bases para su futura implementación en micro redes.

Resultados experimentales del desarrollo de esta plataforma serán presentados en congresos y artículos posteriores.

Una vez que se compruebe el correcto funcionamiento de esta plataforma, se buscará implementarla en otros convertidores de energía, como DC-CA y CA-CD.

5. Agradecimientos

Los autores de este artículo desean agradecer al Laboratorio de Investigación en Control Reconfigurable A.C. (**LiCore**) y a la United States Agency for International Development (**USAID**) por su apoyo económico a este proyecto a través del proyecto “*Smart Transformers: Towards a Mexican Smart Electric Grid*” FOG #: **AID – 523-F-14-00003**; y al convenio de colaboración número **ITC-1-2014-006**, entre **LiCore** y el Instituto Tecnológico de Celaya. Héctor Espino Martínez agrade al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo económico a través de la beca número 590256.

6. Referencias

- [1] Centro de la Energía. Micro red inteligente. 1 de Abril de 2014. www.centroenergia.cl/ce-fcfm/?cat=34
- [2] Rolando Nieva Gómez. “Mesa Redonda: La investigación en energía para el futuro de México: Aspectos Relacionados con la energía”. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Presentación CONACYT. 2014.
- [3] Je-Hyung Cho, Hyun-Wook Soeng, Shin-Myung Jeng, Jin-Sik Park, Gun-Woo Moon, Myung-Joong Youn, “Implementation of Digitally Controlled Phase Shift Full Bridge Converter for Server Power Supply”, ,IEEE.1992

- [4] CISE Electrónica. "Comunicación CAN" y notas técnicas. 30 de Abril de 2014. www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/166-protocolo-de-comunicaci%C3%B3n-can.html
- [5] Microchip, ventajas y características de los PIC con CAN. <http://microchip.com/pagehandler/en-us/technology/can/home.html>
- [6] S. Goel, S. Bush and D. Bakken, "IEEE Vision for Smart Grid Communications: 2030 and Beyond," Smart Grid Research. IEEE Communications Society, May 2013.
- [7] Future Renewable Electric Energy Delivery and Managment (FREEDM) System Center, [en línea]. Disponible: www.freedm.ncsu.edu
- [8] R. Nieva-Gómez, "Red Eléctrica Inteligente: Oportunidades para la Innovación," Mesa Redonda: "La Investigación en Energía para el futuro de México: Aspectos relacionados con Energía Eléctrica," Instituto de Investigaciones Eléctricas, Abril 2013.
- [9] India Smart GridKnowledgePortal, [en línea]. Disponible: www.indiasmartgrid.org
- [10] "Grid 2030: A national vision for electricity's second 100 years," Office of Electric Transmission and Distribution, U.S. Department Of Energy, July 2003.
- [11] Bill Andreyca, "Phase Shifted, Zero Voltage Transition Design Considerations and the UC3875 PWM Controller," TI Literature No. SLUA107
- [12] Teoría de Circuitos, BoylestadNashelsky 10ª Ed., 2013.
- [13] Nila O., Espinosa C., García G., Moreno, Rodríguez R., "Smart-Solid-State-Transformer: Ecoinnovation for Future Smart Grid" ,Implementation in Mexico"; Aceptado en XXXVIII Semana Nacional de Energía Solar (SNES) Asociacion Nacional de Energía Solar Mexicana (ANES) - XI CONGRESO IBEROAMERICANO, Querétaro, Mex., Octubre 2014.
- [14] "The Grid of the Future", Power & Energy Magazine, IEEE, May-June 2014.

7. Autores

Ing. Héctor Espino Martínez obtuvo su título de Ingeniería en el Instituto Tecnológico de Celaya en el año 2013, con especialidad en sistemas digitales, actualmente se encuentra cursando la Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica.

El Dr. Alejandro Espinosa Calderón nació en 1981. Él fue graduado en 2004 como Ingeniero en Electrónica, con especialidad en Electrónica de Potencia, del Instituto Tecnológico de Morelia. En 2007 fue graduado como Maestro en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Guanajuato. En 2012 obtuvo su grado como Doctor en Ingeniería, con mención honorífica, por la Universidad Autónoma de Querétaro. Cuenta con artículos publicados en revistas científicas y congresos internacionales; artículos de libros en editoriales internacionales; y con protecciones de derechos intelectuales. Sus Áreas de Interés son: Electrónica de Potencia, Instrumentación Electrónica, Opto-electrónica, Biosistemas, Nanomateriales y Aplicaciones de FPGAs.

Dr. Elías José Juan Rodríguez Segura, Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco en 1994, Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica y Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET en 1996 y 1999 respectivamente. Desde 1999 es profesor-investigador en el Instituto Tecnológico de Celaya, sus principales áreas de interés son los convertidores CD-CA y CD-CD para alimentación de microprocesadores, cargadores de baterías, microredes de CD, iluminación de estado sólido y calentamiento por inducción para forja, templado y cocción.

M. en C. Natalia de J. Nila-Olmedo obtuvo el título de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica en el 2007 por parte de la Universidad de Guanajuato - FIMEE y el grado de Maestro en Ciencias en el 2009 por parte de la Universidad Autónoma de Querétaro, actualmente se encuentra estudiando el Doctorado en Ingeniería en ésta misma institución y es la presidente de LiCore AC, Asociación Civil dedicada al desarrollo de proyectos tecnológicos. Su experiencia incluye impartición de cursos a nivel licenciatura, cursos de actualización a nivel académico y participación en congresos nacionales. Sus áreas de interés incluyen: electrónica de potencia, procesamiento digital de señales en hardware, lógica reconfigurable, y monitoreo y análisis de variables climatológicas.

Dr. José Alfredo Padilla Medinana nació en Iguala, Gro. el 21 de Abril de 1969. Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en junio de 1992 en el Instituto Tecnológico de Celaya. En 2003 obtuvo el grado de Doctor en Ciencias (Óptica) por parte del Centro de Investigaciones en Óptica. Ha realizado cerca de 40 publicaciones en revistas indizadas y en congresos nacionales e internacionales. A partir del 2002 es profesor-investigador en el Instituto Tecnológico de Celaya donde desarrolla investigaciones en las áreas de controladores difusos, sistemas de visión y teoría ROC.