

1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

Código:	CIDII-030213
Centro de Investigación:	CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA
Programa:	Energías Renovables
Título del Proyecto:	Algoritmos de ajuste aplicados a los sistemas de filtros activos
Grupo de Investigación:	Grupo de Investigación en Energía
Area de Conocimiento:	Ciencia y Tecnología
Línea de Investigación:	Optimización de energías y energías
Tipo de Investigación:	Desarrollo
Campo :	Tecnologías
Investigador Principal :	FLAVIO ALFREDO QUIZHPI PALOMEQUE
Proyectos Vinculados :	Sub proyecto 1: La transformada de Walsh aplicada a la selección de armónicos. Sub Proyecto 2: Balance de energías en estructuras híbridas en multinivel
Duración del Proyecto :	12 Meses
Localización del Proyecto :	Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca
Fecha de ingreso :	01/10/2013 08:54

2. ANTECEDENTES

En una primera etapa se ha construido una plataforma de ensayos aplicado a inversores multinivel. El objetivo de la aplicación del sistema se orienta a mejorar el factor de potencia en instalaciones industriales y domésticas, lo cual mejora el aprovechamiento de los conductores eléctricos dando como resultado un uso más eficiente de la energía eléctrica y disminuyendo la contaminación armónica en el resto de la línea. Debe remarcarse que esta es una tendencia mundial que repercute de manera positiva en toda la sociedad mejorando la calidad de la energía eléctrica que se recibe y facilita igualmente las interconexiones del sistema eléctrico con fuentes de energías alternativas.

3. JUSTIFICACIÓN

En una segunda etapa es necesario la valoración de algoritmos de ajuste, estructuras híbridas y balances de energías sobre los sistemas multinivel. El desarrollo local de estos preceptos y la investigación asociada correspondiente, abre la posibilidad de atender necesidades específicas adaptadas al medio regional y más competitivo desde el punto de vista económico; con un significativo aporte a la ciencia.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Desarrollar algoritmos que permitan a estructuras multinivel realizar técnicas de modulación, aplicando: (1) simplificación de cálculos requeridos con la finalidad de reducir el tiempo de respuesta del sistema y (2) Disminuir el número de conmutaciones de los elementos de potencia para reducir las pérdidas en el convertidor; para garantizar un manejo adecuado de los niveles de contaminación armónico.

4.2 Objetivos Especificos

- 1 Analizar los sistemas que utilicen menor número de elementos en una estructura multinivel para operar en alta tensión, con o sin modulación.
- 2 Determinar los algoritmos de ajuste sobre multiniveles híbridos.
- 3 Adquirir los sistemas de procesamiento de señales que se ajusten a los sistemas multinivel.
- 4 Implementar las estructuras y algoritmos de control que permitan ajustar dinámicamente los valores de los niveles armónicos.
- 5 Validar los sistemas propuestos.

5. ESTADO DEL ARTE

Técnicas de control aplicadas a los inversores multinivel

1.1. Inyección Selectiva de Armónicos (SHE)

La dinámica del control industrial orientada al control del comportamiento de los filtros APF (Active Power Filter)[6], dependen de tres características:

1. Método implementado para generar la referencia
2. Características del convertidor
3. Método de modulación utilizado

En 1996 se cita una forma de limitar la barra dc en los convertidores multinivel [36]. En este trabajo se comparan las transformadas d y q aplicadas a la red con la obtenida a partir de las tensiones o corrientes generadas por el compensador multinivel, para generar un sistema de referencia en el sistema de control. En 1997 se encuentra citado el uso de un DSP como medio de control de un filtro compensador de factor de potencia [19].

En 1999, Aller [4] presenta los conceptos de potencia activa y reactiva instantánea y su relación con los vectores espaciales.

En 2003, Prats [40] presenta un análisis de nuevas técnicas de modulación y una alternativa para la selección de vectores espaciales a partir de la determinación de su posición en un sistema de coordenadas cartesianas (real e imaginario), sin la necesidad de realizar cálculos trigonométricos. También presenta una alternativa de modulación en 3D para la selección del vector espacial. Para controlar las acciones de activación vectorial, Kanchan [21] presenta un algoritmo de ajuste de tiempos de activación de los elementos para puentes de n-niveles en configuración de espalda con espalda.

Las técnicas simples de control para llevar a sistemas eléctricos a trabajar con factor de potencia cercano a uno fueron desarrolladas a gran escala en la década del 2000. Se presenta una aplicación en un control

«space-vector modulation» SVM [43]. La búsqueda de lograr control de factor de potencia dentro de las normas llevó a desarrollar algoritmos que supervisen y ajusten en línea los niveles de potencia reactiva de la red. En [44] se tiene un algoritmo de control que busca el vector óptimo para tal efecto. El control directo de potencia con técnicas vectoriales[5] ajusta instantáneamente las potencias activas y reactivas siendo inmune a los armónicos. En los últimos años se manejan sistemas de control sencillos aplicados a sistemas industriales que generan ondas de referencia de corriente que se asemejan a las ondas de tensión netamente sinusoidales [42].

Sistemáticamente, Rodríguez [47] presenta una visión de las técnicas aplicadas hasta el 2009, las mismas se muestran en la figura 1.1.

Figura 1.1: Técnicas de modulación [47]

Una de las técnicas de modulación a la que los investigadores han dedicado mayores esfuerzos por lo complejo de los cálculos matemáticos para resolver ecuaciones no lineales [46], es la de inyección selectiva de armónicos (SHE), también denominada técnica de eliminación programada de armónicos. Esta técnica fue presentada a mediados de los años 60[50].

El método determina las condiciones para anular las componentes V_n y ajusta la fundamental V_1 mediante el índice de modulación. Los cálculos requieren que en cada punto de muestreo se determine una serie de cosenos para diferentes ángulos. En una primera aproximación a esta técnica se utiliza como referencia las recomendaciones IEEE Std. 519-92 [39]. Realizando este cálculo se obtiene una tabla de valores de referencia que se aplican a un convertidor multinivel sin realimentación, resultados presentados por Pontt[39] en el 2004. Agelidis y Balouktsis [3] en 2006 presentan una técnica de minimización de una función de costo con la restricción del nivel de tensión para determinar los valores de los ángulos en cada uno de los niveles, validando esta propuesta en un inversor de siete niveles.

Figura 1.2: Tensión de salida de un sistema de cinco niveles, selección de ángulos propuesto por Miñambres[30]

Miñambres [30], en 2011 propone la técnica para SHE mostrada en la figura 1.2. En este método se considera el ajuste de tres ángulos de control de la modulación para el sistema y se sintoniza con la acción de supresión de las armónicas de la corriente.

Kavousi [24] en 2012 presenta un mecanismo para disminuir los tiempos de cálculos, en donde selectivamente anula los diferentes niveles de armónicos. La función a minimizar se basa en establecer los niveles de voltajes como referentes máximos para sincronizar con la frecuencia de resonancia de los armónicos.

Se reportan trabajos que cambiando la forma de sensado de la corriente o tensión, llegan finalmente al control de la modulación de las etapas del multinivel a través de la inyección o selección de armónicos [15, 14].

Un sistema que tiene proyección considera la relación que planteó Siemens [48] en 1973, para establecer las semejanzas entre la Transformada de Fourier y la transformada de Walsh, mostrada en la figura 1.3. Johnson [20] presenta una alternativa para la eliminación selectiva de los armónicos aplicando la transformada de Walsh. Este primer algoritmo realiza el ajuste selectivo en función de los niveles de la transformada de Walsh. Daemen [9] y Preneel [41] reeditan el método y lo complementan determinando los índices de modulación de cada uno de los niveles de la transformada. Los resultados para una modulación unipolar se presentan en [46], estableciendo la posibilidad de una amplia aplicación de esta técnica para modulaciones bipolares u otras que podrían considerar estructuras multinivel.

Figura 1.3: funciones de Walsh[46]

1.2. Modulación híbrida

La modulación híbrida se entiende como la combinación de diversas técnicas que llevan a la modulación PWM. Muchas de estas modulaciones se sincronizan para eliminar ciertos armónicos, sobre esta área existen algunos trabajos reportados [17, 29, 51, 25]. He y Liu [17] presentan un algoritmo que ajusta el nivel de etapas requeridas así como los niveles de filtrado en cada una de ellas. Mekhilef[29] en 2010 presenta un sistema de control que fija un vector de referencia y sintetiza vectores cercanos a la zona de referencia para obtener una aproximación al mismo. Esta técnica permite la estructura de potencia que combine un inversor trifásico en serie a cada rama un monofásico en puente. La combinación de las técnicas de control orientadas a la inserción de armónicos en fuentes de corriente es propuesta por Wang[51] en 2011. Los resultados reportados garantizan que es posible eliminar los efectos de resonancia al utilizar inductancias para la regularización del nivel de los armónicos. Lezana[25] en 2012 presenta una estructura denominada Hybrid

Multicell Converter (HMC). Este esquema se muestra en la figura 1.4. En la estructura HMC se utilizan módulos de dos semiconductores de potencia y un condensador, patentado por Dommaschk [11], para en conjunto formar celdas para el inversor multinivel. El control de la modulación se realiza mediante la generación de referencia en escalones.

Figura 1.4: Estructura HMC[25]

1.3. Modulación DELTA

Consiste en establecer una banda de comparación para determinar políticas de cambio respecto a la misma. Amini [6] en 2011 establece sobre una estructura de fijación con capacitores una lógica de control similar a la operación de un convertidor A/D (comparación por escalones). Se determina una banda de histéresis para implementar una modulación denominada Sigma-Delta ζ - ζ . El sistema selecciona la ganancia de los amplificadores, los límites de saturación de los integradores, frecuencia de muestreo y límite de la histéresis. La aplicación compara la banda de histéresis de la tensión de referencia con la tensión de la carga, si el error es positivo los condensadores se descargan, si es negativo el condensador se carga.

Frente a la modulación Sigma-Delta ζ - ζ simple de primer orden y con el fin de disminuir el nivel del ruido blanco, Amini [7] introduce un sistema de segundo orden. Este sistema permite tener un margen menor de histéresis y un mayor rango de frecuencia de trabajo, reduciendo los requerimientos de filtrado.

1.4 Modulación de vectores espaciales (SVM)

En el sistema de modulación vectorial el objetivo es el control de las salidas requeridas por las cargas o convertidores. Es necesario definir las estrategias que utilizando el SVM permita reducir el impacto de los armónicos. Hu, Zhang y Whatkings [18] en el 2008 presentan una estrategia que, además de la modulación, busca realizar un balance de tensiones en cada uno de los condensadores de la estructura del puente multinivel.

Odavic[31] en el 2009 desarrolla una estrategia de modulación aplicada al control con corrientes de referencia obtenidas a partir de sintetizar vectores de corriente. La propuesta es aplicada al control de aviones a escala, este método es posible aplicarlo a sistemas de filtrado armónico.

Tan y Li [49] presentan un análisis del comportamiento de los sistemas multinivel utilizando desde el punto de vista vectorial la transformación dq. En este desarrollo se establecen funciones de costo aplicadas en el sistema de control. Abdalla [1] realiza una variación de este esquema que permite su aplicación a niveles reducidos de tensión (sistema de distribución) utilizando un menor número de niveles. Acuna [2] presenta un sistema de control que maneja cada una de los niveles por separado. El control genera las componentes fundamentales de tensión y corriente basando en una estimación de estados [12]. En la figura 1.5 se muestra el esquema en bloques de esta propuesta. En [2] también se propone fórmulas para determinar los valores L y C para el filtro.

Figura 1.5: Esquema de control en bloques de la propuesta de Acuna[2]

1.5. Técnicas predictivas

Una de las formas de acelerar la respuesta del filtro consiste en linealizar las condiciones de operación del sistema en torno a un punto. Barros [8] presenta una alternativa mediante la aplicación práctica de la transformada de Park [34, 35].

Las nuevas técnicas digitales, permiten establecer comportamientos de filtros que pueden simplificar el número de conmutaciones [27]. La tendencia de estas técnicas digitales se centran en determinar una secuencia de encendido fijo con niveles establecidos de la demanda máxima, sin considerar los niveles de contaminación armónica. Existe una evaluación de estas técnicas[26], las cuales permiten desarrollar aplicaciones que pueden englobarse en sistemas de baja potencia por las características citadas de máxima demanda de potencia. Refuerza esta propuesta la serie de evaluaciones realizadas a configuraciones clásicas efectuada por De [10] en el 2011. Este método se centra en comparar las respuestas al proceso de conmutación cuando se utilizan diferentes componentes de potencia (MOSFET, SiC e IGBT).

De lo planteado en [4] se han desarrollado una serie de sistemas de control que aplican el concepto de potencia instantánea. Karuppanan [23] presenta un método de cálculo de la referencia basado en la medición de los valores instantáneos y los proyecta como estados para mantener los niveles nominales de voltaje y

potencia del filtro. Un trabajo reciente en esta misma línea es el de Gómez [16], que utiliza para la generación de las corrientes de referencia en filtros activos, la teoría del tensor de potencia instantáneo.

En [22] se usa una técnica de filtro Butterworth de segundo orden para determinar los niveles de conmutación del sistema. Las señales de referencia son obtenidas a partir de la transformación dq, las componentes permiten generar las corrientes de referencia para el algoritmo de ajuste. Paredes [33] y Pérez [37, 38] presentan una técnica de ajuste de parámetros de la respuesta del sistema a través del conocimiento de los parámetros de la carga (R, L,C). Esta técnica permite establecer la función de costo a minimizar y encontrar así, los parámetros de ajuste del filtro. En este caso, se debe de considerar una combinación de filtros pasivos para los armónicos de frecuencia baja en aplicaciones industriales.

Otra de las formas de generar una predicción del comportamiento es presentada por Rezaei[45], el autor define la potencia como referencia y el sistema se comporta según esa referencia.

1.6. Multicarrier PWM

1.6.1. Desplazamiento de fase

En los últimos años se ha dado especial atención a sistemas que permitan alcanzar niveles altos de tensión. Mandukar [28] presenta una comparación de respuesta para sistemas de baja corriente en alta tensión. En este trabajo se presentan las ventajas que se introducen con estas técnicas de control y la estructura citada se ilustra en la figura 1.6.

1.6.2. Desplazamiento de nivel

Otra de las técnicas que permite sincronizar los niveles de eliminación de armónicos en filtros multinivel es analizada por Palanivel [32] en 2010. Este método permite mover los niveles de las portadoras para la conmutación tal como se observa en la figura 1.7. La sincronización adecuada del desplazamiento permitirá establecer niveles de sincronización para eliminar armónicos.

Figura 1.6: Bloques de la generación de corriente de referencia presentado por Mandukar[28]

Figura 1.7: Niveles de las portadoras para la técnica de desplazamiento de nivel[32]

6. METODOLOGÍA

1) Tarjeta de adquisición y control

Es necesario la implementación de seis tarjetas con sistema DSP para la simulación, adquisición y procesamiento de señales orientadas al control sobre sistemas multinivel. Una capacitación adecuada para el manejo de las mismas permitirá un adecuado manejo de los recursos.

2) Determinar algoritmos de ajuste para sistemas de filtros activos

Una vez identificados los diferentes algoritmos se procederá a realizar optimizaciones sobre los procesos seguidos por los mismos. Un trabajo conjunto con redes de investigación permitirá avanzar sobre supuestos que en otros grupos de investigación ya lo verificaron. La validación de los algoritmos se realizará sobre las simulaciones implementadas en MatLAB y/o sobre los módulos de DSP.

3) Etapa de potencia

Acoplar la plataforma multinivel, desarrollada en la primera fase de investigación del grupo, con algoritmos implementados sobre las tarjetas de control.

4) Prueba del sistema completo

Con la etapa de potencia ya montada, se integran al sistema las tarjetas de adquisición y la de control pudiéndose realizar la prueba integral de éste, para lo cual debe probarse la capacidad del sistema para efectivamente compensar el factor de potencia de una instalación real. Toda la operación del sistema puede

comprobarse mediante la adquisición de variables con las tarjetas de adquisición y con el osciloscopio para luego realizar el análisis de la información y poder determinar las mejoras obtenidas en las características armónicas de la corriente de línea.

7. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] I.I. Abdalla, K.S.R. Rao, and N. Perumal. Cascaded multilevel inverter based shunt active power filter in four-wire distribution system. In National Postgraduate Conference (NPC), 2011, pages 1-6, September 2011.
- [2] P.F. Acuna, L.A. Moran, C.A. Weishaupt, and J.W. Dixon. An active power filter implemented with multilevel single-phase NPC converters. In IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pages 4367-4372, November 2011.
- [3] V.G. Agelidis and A.I. Balouktsis. A seven-level defined selective harmonic elimination PWM strategy. In 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC 2006, pages 1-7, June 2006.
- [4] J. M. Aller, A. Bueno, J. A. Restrepo, M. I. G. de Guzman, and V. M. Guzman. Advantages of the instantaneous reactive power definitions in three phase system measurement. Power Engineering Review, IEEE, 19(6):54-56, 1999.
- [5] J. M ALLER, A BUENO, J. A RESTREPO, and G NORIEGA. Control directo de potencia activa y reactiva mediante vectores espaciales. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 21:81-87, 09 2006.
- [6] J. Amini. Flying capacitor multilevel inverter based shunt active power filter with trifling susceptibility to divisional voltages deregulation. In Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on, pages 1-5, May 2011.
- [7] J. Amini. High performance shunt active power filter based on flying capacitor multilevel inverter using multi-stage modulator. In Electrical Engineering (ICEE), 2011 19th Iranian Conference on, page 1, May 2011.
- [8] J.D. Barros and J.F. Silva. Multilevel optimal predictive dynamic voltage restorer. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 57(8):2747-2760, August 2010.
- [9] J. Daemen, R. Govaerts, and J. Vandewalle. Correlation matrices. In Fast Software Encryption, pages 275-285. Springer, 1995.
- [10] S. De, D. Banerjee, K. S. Kumar, K. Gopakumar, R. Ramchand, and C. Patel. Multilevel inverters for low-power application. Power Electronics, IET, 4(4):384-392, 2011.
- [11] M. Dommaschk, J. Dorn, I. Euler, J. Lang, Q. B. Tu, and K. Würflinger. Drive for a phase module branch of a multilevel converter, 24 July 2008. WO Patent WO/2008/086,760.
- [12] G. Fedele, C. Picardi, and D. Sgro. A power electrical signal tracking strategy based on the modulating functions method. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 56(10):4079-4087, 2009.
- [13] J.C. Viola F.Quizhpi. Desarrollo de un convertidor electrónico multinivel para aplicaciones de compensación de potencia reactiva. Energía, (9), 2013.
- [14] B. Geethalakshmi and K. DelhiBabu. An advanced modulation technique for the cascaded multilevel inverter used as a shunt active power filter. In Power Electronics (IICPE), 2010 India International Conference on, pages 1-6, January 2011.
- [15] B. Geethalakshmi, M. Kavitha, and K. Delhibabu. Harmonic compensation using multilevel inverter based shunt active power filter. In Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) 2010 Power India, 2010 Joint International Conference on, pages 1-6, December 2010.
- [16] G. Gómez, Y. A, et al. Filtro activo de potencia controlado con la teoría del tensor instantáneo de potencia= Active power filter controlled by instantaneous power tensor theory. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales, 2011.
- [17] Y. He, P. Liu, J. Liu, and Z. Wang. A design method of hybrid cascade multilevel structure for active power filter application in moderate-voltage grid. In Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International, pages 2670-2675. IEEE, 2010.
- [18] Junfei Hu, Li Zhang, and S.J. Watkins. Active power filtering by a flying-capacitor multilevel inverter with capacitor voltage balance. In Industrial Electronics, 2008. ISIE 2008. IEEE International Symposium on, pages 2348-2352, July 2008.
- [19] S.-G. Jeong and M.-H. Woo. DSP-based active power filter with predictive current control. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 44(3):329-336, June 1997.
- [20] J. Johnson. Walsh-Hadamard Transform Notes. 2005.

- [21] R. S. Kanchan, M. R. Baiju, K. K. Mohapatra, P. P. Ouseph, and K. Gopakumar. Space vector PWM signal generation for multilevel inverters using only the sampled amplitudes of reference phase voltages. *Electric Power Applications, IEE Proceedings -*, 152(2):297 \hat{c} 309, March 2005.
- [22] P. Karuppanan and K. Mahapatra. A novel SRF based cascaded multilevel active filter for power line conditioners. In *India Conference (INDICON), 2010 Annual IEEE*, pages 1 \hat{c} 4, December 2010.
- [23] P. Karuppanan and K. Mahapatra. Cascaded multilevel inverter based active filter for power line conditioners using instantaneous real-power theory. In *Power Electronics (IICPE), 2010 India International Conference on*, pages 1 \hat{c} 6, January 2011.
- [24] A. Kavousi, B. Vahidi, R. Salehi, M. Bakhshizadeh, N. Farokhnia, and S.S. Fathi. Application of the bee algorithm for selective harmonic elimination strategy in multilevel inverters. *27(4):1689 \hat{c} 1696*, April 2012.
- [25] P. Lezana, C. Silva, and R. Aceiton. Phase disposition PWM implementation for an hybrid multicell converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, PP(99):1, 2012.
- [26] P. Y. Lim and N A. Azli. Comparison Of Inverters Performance As Active Power Filters With Unified Constant-Frequency Integration Control. *Jurnal Teknologi*, 46:121 \hat{c} 134, 2012.
- [27] P. Y. Lim and N. A. Azli. A modular structured multilevel inverter active power filter with unified constant-frequency integration control for nonlinear AC loads. In *Power Electronics and Drive Systems, 2007. PEDS \hat{c} 07. 7Th International Conference on*, pages 244 \hat{c} 248. IEEE, 2007.
- [28] W. Madhukar and P. Agarwal. Comparison of control strategies for multilevel inverter based active power filter used in high voltage systems. In *Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) 2010 Power India, 2010 Joint International Conference on*, pages 1 \hat{c} 6, December 2010.
- [29] S. Mekhilef and M.N. Abdul Kadir. Voltage control of three-stage hybrid multilevel inverter using vector transformation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25(10):2599 \hat{c} 2606, October 2010.
- [30] V. Miñambres-Marcos, M. Á. Guerrero-Martínez, E. Romero-Cadaval, M. I. Milanés-Montero, and F. Barrero-González. Análisis de la Tensión del Bus de Continua y su Equilibrado en Topologías Cooperativas basadas en Convertidores Multinivel.
- [31] M. Odavic, M. Sumner, and P. Zanchetta. Control of a multi-level active shunt power filter for more electric aircraft. In *Power Electronics and Applications, 2009. EPE \hat{c} 09. 13th European Conference on*, pages 1 \hat{c} 10, September 2009.
- [32] P. Palanivel and S.S. Dash. Implementation of THD and output voltage of three phase cascaded multilevel inverter using multicarrier pulse width modulation techniques. In *Sustainable Energy Technologies (ICSET), 2010 IEEE International Conference on*, pages 1 \hat{c} 6, December 2010.
- [33] A.E. Paredes, J.I. Simpson, J. Pontt, and C. Silva. Predictive current control of a multilevel active filter for industrial installations. In *Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) 2010 Power India, 2010 Joint International Conference on*, pages 1 \hat{c} 6, December 2010.
- [34] R. H. Park. Two-reaction theory of synchronous machines generalized method of analysis-part I. *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the*, 48(3):716 \hat{c} 727, 1929.
- [35] R. H. Park. Two-reaction theory of synchronous machines-II. *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the*, 52(2):352 \hat{c} 354, 1933.
- [36] F. Z. Peng and J.-S. Lai. Dynamic performance and control of a static VAR generator using cascade multilevel inverters. In *Industry Applications Conference, 1996. Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS \hat{c} 96., Conference Record of the 1996 IEEE*, volume 2, pages 1009 \hat{c} 1015 \hat{c} vol \hat{c} 2, October 1996.
- [37] M. A. Perez, E. Fuentes, and J. Rodriguez. Predictive current control of ac-ac modular multilevel converters. In *Industrial Technology (ICIT), 2010 IEEE International Conference on*, pages 1289 \hat{c} 1294. IEEE, 2010.
- [38] M. A. Perez, J. Rodriguez, E. J. Fuentes, and F. Kammerer. Predictive control of AC \hat{c} AC modular multilevel converters. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 59(7):2832 \hat{c} 2839, 2012.
- [39] J. Pontt, J. Rodriguez, and R. Huerta. Mitigation of noneliminated harmonics of SHEPWM three-level multipulse three-phase active front end converters with low switching frequency for meeting standard IEEE-519-92. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 19(6):1594 \hat{c} 1600, November 2004.

- [40] M. A. M. Prats. Nuevas técnicas de modulación vectorial para convertidores electrónicos de potencia multinivel. PhD thesis, Universidad de Sevilla, 2003.
- [41] B. Preneel, W. Van Leekwijck, L. Van Linden, R. Govaerts, and J. Vandewalle. Propagation characteristics of Boolean functions. In *Advances in Cryptology - EUROCRYPT 90*, pages 161 ¿ 173. Springer, 2006.
- [42] K.S. Rani and K. Porkumaran. Multilevel shunt active filter based on sinusoidal subtraction methods under different load conditions. In *Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON), 2010 IEEE Region 8 International Conference on*, pages 692 ¿697, July 2010.
- [43] J. Restrepo, J. Viola, J. M. Aller, and A. Bueno. A simple switch selection state for SVM direct power control. In *Industrial Electronics, 2006 IEEE International Symposium on*, volume 2, pages 1112 ¿ 1116. IEEE, 2006.
- [44] J. A. Restrepo, J. C. Viola, J. M. Aller, and A. Bueno. Algorithm evaluation for the optimal selection of the space vector voltage using DPC in power systems. In *Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on*, pages 1 ¿ 9. IEEE, 2007.
- [45] M. A. Rezaei, S. Farhangi, and H. Iman-Eini. Extending the operating range of cascaded H-bridge based multilevel rectifier under unbalanced load conditions. In *Power and Energy (PECon), 2010 IEEE International Conference on*, pages 780 ¿ 785. IEEE, 2010.
- [46] V. Rodrigo, J, et al. Eliminación selectiva de armónicos en convertidores pwm continua-alterna mediante la transformada de walsh. 2012.
- [47] J. Rodriguez, L. G. Franquelo, S. Kouro, J. I. Leon, R. C. Portillo, M. A. M. Prats, and M. A. Perez. Multilevel converters: An enabling technology for high-power applications. *Proceedings of the IEEE*, 97(11):1786 ¿ 1817, 2009.
- [48] K. H. Siemens and R. Kitai. A Nonrecursive Equation for the Fourier Transform of a Walsh Function. *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on, EMC - 15(2):81 ¿ 83*, May 1973.
- [49] Guojun Tan, Hao Li, Jinghuan Fang, and Meng Liu. Study of multi-level active power filter control without phase-locked-loop. In *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific*, pages 1 ¿4, March 2010.
- [50] F. G. Turnbull. Selected harmonic reduction in static dc-ac inverters. *IEEE Trans. Commun. Electron*, 83(73):374 ¿ 378, 1964.
- [51] Zheng Wang, Bin Wu, Dewei Xu, and N. Zargari. Hybrid PWM for high-power current-source-inverter-fed drives with low switching frequency. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(6):1754 ¿1764, June 2011.

8. RESULTADOS ESPERADOS

El proyecto espera lograr un producto final que son los algoritmos de ajuste para un convertidor electrónico multinivel operando como corrector de armónicos conectado a la línea. Para lograr la operación del convertidor se requiere contar previamente con tarjetas de adquisición de variables eléctricas y con una tarjeta de control mediante DSP. Estas tarjetas constituyen en sí mismas productos individuales que pueden ser de utilidad en otros ámbitos tanto académicos como industriales.

9. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y/O SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

Respecto a los cursos de pregrado que pueden verse beneficiados de poder contar con este equipo para demostraciones de laboratorio se pueden mencionar: Máquinas Eléctricas, Circuitos Eléctricos Industriales y Electrónica de Potencia II

Como se mencionaba un equipamiento de esta naturaleza puede ser del interés de clientes en el ámbito productivo que deseen mejorar el factor de distorsión armónico de sus instalaciones.

La publicación de resultados en revistas de impacto, así como en congresos permitirá que se conozcan los resultados de la investigación.

El formar redes de investigación en el ámbito de la electrónica de potencia se reflejará en la cooperación y convenios interinstitucionales para el desarrollo de productos.

10. IMPACTOS DEL PROYECTO

¿Cuáles serán los logros/impactos del proyecto?

- Académico: El producto final esperado puede ayudar en demostraciones de laboratorio donde se desee mostrar la capacidad de compensación de armónicos de la cual es capaz esta configuración. Ofrece además la posibilidad de que se propongan métodos novedosos de control los cuales pueden ser rápidamente probados dado que el hardware es controlado por una tarjeta programable DSP.

Se generarán tesis de pregrado y postgrado en el ámbito de la optimización de algoritmos de control

- Científico: El sistema permitirá poner a prueba diversos métodos de control y establecer comparaciones sobre su efectividad. Permite probar también métodos de estimación de variables eléctricas que permitan reducir la cantidad de sensores utilizados. Todos estos temas son de gran actualidad en el ambiente científico y se espera poder obtener publicaciones en esa área.

- Tecnológico: El sistema obtenido tiene grandes posibilidades de ser ofrecido como solución tecnológica a clientes interesados (industria, otras instituciones universitarias, etc.)

- Ambiental: En general el impacto final de este tipo de tecnología se da en lo ambiental ya que permiten mejorar la eficiencia del sistema eléctrico y facilitan las futuras interconexiones con fuentes de energías alternativas.

11. INFORMACIÓN DE COFINANCIADORES (en caso de que existieran)

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL :	SENESCYT PROYECTO PROMETEO
REPRESENTANTE LEGAL :	Lcda. Gabriela Jaramillo
DIRECCION :	9 de Octubre N22-48 y Jerónimo Carrión, Casa Patrimonial
PAGINA WEB :	
E-MAIL :	
TIPO :	Publico