


Multilevel inverter D-STATCOM for reducing total harmonic distortion in a non-linear loads electrical distribution system

Inversor D-STATCOM multinivel aplicado para la reducción de la distorsión armónica total en un sistema de distribución eléctrica con cargas no lineales

 M. Callacando¹

 W. Pavón¹

 L. Ortiz¹

¹Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador
E-mail: mcallacando@est.ups.edu.ec; wpavon@ups.edu.ec; lortizm@ups.edu.ec

Abstract

The paper presents a D-STATCOM Multilevel Cascade Inverter model, which bases on synchronous reference frame control strategy to reduce the current total harmonic distortion. The non-linear loads produce this current harmonic distortion when this load is connected to the analysis bus. The harmonic content of the network is evaluated before and after the strategy compensation. There are different connection and disconnection times of the compensator, to differentiate between distorted waveforms and perfect sine waves. As a result, it is established the strategy performance. The system implementation was carried in MATLAB and Simulink platform, to do the simulation and analysis of the research result. The THD reduction underline the reliability of the proposed strategy.

Index terms— multi-level, control, compensation, harmonic, THD, D-STATCOM, MLI, IEEE 13 Distribution.

Resumen

El paper presenta el análisis de rendimiento de un Inversor Multinivel en Cascada D-STATCOM para reducir la distorsión armónica total, que basa su control en la estrategia del marco de referencia síncrono. La distorsión armónica es recurrente en las redes de distribución eléctrica actuales debido a la presencia de cargas no lineal, como electrodomésticos u otros dispositivos que tengan en sus componentes electrónica de potencia. El funcionamiento del sistema es evaluado antes y después de implementar la compensación. La simulación y análisis de los resultados de esta investigación está validado en el sistema de distribución de pruebas de la IEEE de 13 barras, en MATLAB y Simulink, alcanzando excelentes resultados en reducción del contenido armónico del sistema. Como resultados se obtiene que los armónicos de tercer orden que es el más alto con 32.36% se ve reducido a un 0.67% en una frecuencia fundamental de 60Hz.

Palabras clave— multinivel, control, compensación, armónicos, THD, D- STATCOM, MLI, IEEE 13 de Distribución.

Recibido: 07-05-2022, Aprobado tras revisión: 08-07-2022

Forma sugerida de citación: Callacando, M.; Pavón. W.; Ortiz, L. (2022). "Inversor D-STATCOM multinivel aplicado para la reducción de la distorsión armónica total en un sistema de distribución eléctrica con cargas no lineales". Revista Técnica "energía". No. 19, Issue I, Pp. 85-91

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.520>

© 2022 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

1. INTRODUCCIÓN

El uso de cargas no lineales en aplicaciones industriales, comerciales y domésticas, alteran la calidad de la energía. Estas producen inconvenientes en la red eléctrica como sobrecargas en equipos eléctricos, envejecimiento prematuro en máquinas eléctricas, entre otros [1]. El incremento de cargas no lineales y la múltiple integración de fuentes de energía en la red, aumenta la probabilidad de perturbación en la corriente, voltaje y frecuencia de la red, afectando los parámetros de operación normal del sistema[2].

Dado estos inconvenientes se han planteado posibles soluciones y una de ellas es la compensación a través del compensador síncrono estático de distribución (D-STATCOM). El D-STATCOM es el dispositivo de compensación más utilizado en los sistemas de distribución para resolver problemas de calidad de energía [2]. Este dispositivo es capaz de inyectar dinámicamente una corriente de compensación con la amplitud, frecuencia y fase deseada en cualquier nodo de la red de distribución eléctrica [3][4].

Existen varias técnicas de control para el D-STATCOM como la teoría del marco de referencia síncrono (SRF) o la teoría de la potencia reactiva instantánea (IRP), que la presenta el autor en el artículo de investigación [5] como alternativa para la compensación reactiva, el desequilibrio, la reducción de la distorsión armónica total y el mejoramiento del factor de potencia del sistema.

Los inversores multinivel (MLI) han ganado espacio en las topologías empleadas para el funcionamiento del D-STATCOM, ya que éste brinda la posibilidad de reducir el contenido armónico a partir de los diversos niveles de voltaje DC de cada entrada [6].

Los autores del artículo [7] proponen la mitigación de la distorsión armónica total (THD) producida por una carga no lineal, a través del inversor multinivel de tres niveles en cascada. Se propone una estrategia basada en la teoría del SRF y D-STATCOM. Para la simulación del MLI D-STATCOM se utilizó MATLAB/SIMULINK. Las simulaciones muestran el diseño del MLI D-STATCOM y se analiza los resultados en términos de formas de ondas de corriente, voltaje y la THD.

El artículo está organizado de la siguiente forma. En el capítulo 2 está la metodología propuesta. Mientras en el capítulo 3 se presente el análisis y la discusión de resultados. Y finalmente en el capítulo 4 están las conclusiones de la presente investigación.

2. METODOLOGÍA

La topología empleada para el inversor multinivel basa su estructura en puentes H monofásicos en cascada con fuentes separadas por cada celda implementadas para cada fase [8][9]. La estructura con CHB (Cascaded H Bridge) de tres niveles que actúa como VSC (Voltage

Source Inverter) de un D-STATCOM. La misma que consta de tres salidas niveladas (+Vcc, 0, -Vcc) con un puente H conectado en cascada a través de una impedancia de acoplamiento por cada fase en derivación. El número de celdas (C) de CHB-MLI por cada fase que requiere el compensador, está determinado por cada nivel de conmutación (m) del HCB, representado por la ecuación (1) [10]. Mientras que la determinación del número de niveles de voltaje (k) de salida es establecida por el n, en la ecuación (2). Es decir que con un puente H por cada fase se puede establecer un inversor en cascada de 3 niveles.

$$c = \frac{(m - 1)}{2} \quad (1)$$

$$k = 2n + 1 \quad (2)$$

Para mejorar la calidad se puede conectar varios puentes H en cascada, lo cual sintetiza el voltaje deseado de varias fuentes DC separadas. SRF es conocida también como técnica de transformación dq0, es uno de los métodos de control más eficientes para la supresión de los armónicos de voltaje y de corriente; esta técnica rige su funcionamiento en la transformada de Park [11].

La técnica que utiliza el control SRF es generar vectores unitarios a partir del voltaje de suministro, transfiriendo las corrientes distorsionadas (coordenadas a-b-c) a las coordenadas del marco de referencia síncrono de dos fases (dq0), utilizando las funciones seno y cosenos del bucle de bloqueo de fase (PLL) [3].

El PLL es el encargado de mantener la sincronización del convertidor con el voltaje de línea y la corriente de alimentación; además proporciona el ángulo de fase síncrono para el bloque de transformación midiendo la frecuencia del sistema [12]. Adicionalmente, la técnica de transformación dq0 cambia de manera exacta señales sinusoidales a señales constantes. De esta manera, resultan modelos dinámicos relativamente simples para modelar y analizar fenómenos transitorios rápidos, que se encuentran en los sistemas de potencia [27].

El MLI D-STATCOM propuesto en la Fig. 1. En la estructura se conecta a cada fase una inductancia de acoplamiento, donde VSa, VSb, VSb son los voltajes de fase de la fuente, y las corrientes de derivación de la carga por cada fase son ILa, ILb, ILc respectivamente [6] [8] [10][13].

El incremento progresivo de cargas eléctricas permite encontrar estrategias para mejorar la calidad del suministro eléctrico y de esta manera satisfacer la demanda de energía eléctrica requerida[4]. Sabiendo que, hoy en día una gran cantidad de demanda son producidas por las cargas no lineales, estas cargas son las principales fuentes de armónicos que distorsionan la forma de onda de corriente sinusoidal habitual [14] [15]. La



compensación tipo D-STATCOM puede evitar los efectos contraproducentes que se genera por la aparición de los armónicos, disminuyendo el THD de corriente, THDi, en la red eléctrica.

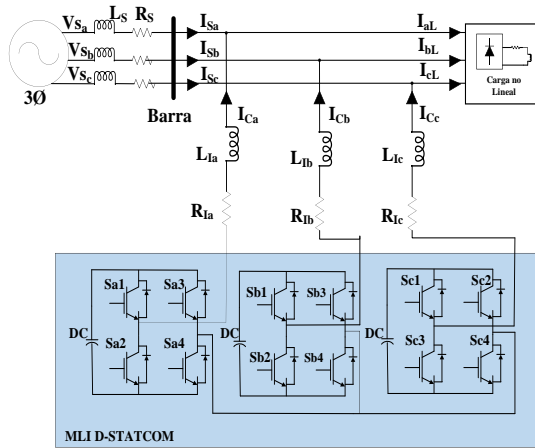


Figura 1: Diagrama del MLI D-STATCOM

Para el estudio se eligió una topología MLI de tres niveles, esto quiere decir que existe un puente H y un capacitor para cada fase, por tanto, hay tres capacitores en total en cada puente H en cascada. Es por eso que, para equilibrar los voltajes de los condensadores en DC, durante toda su operación, se adiciona el controlador proporcional integral (PI) y de esta manera se pueda distribuir la potencia activa entre todos los puentes H para compensar las pérdidas de energía (ID_{loss}), mostrada en la Ecuación (4) [6][13]. Los controladores PI implementados tienen los mismos valores de ganancia proporcional (Kp) y ganancia integral (Ki) para que el voltaje del capacitor sea igual al valor de voltaje de referencia del enlace DC [16]. En el control basado en marco de referencia síncrono se encuentra las corrientes de carga en coordenadas abc, las cuales se transforman en coordenadas dq0, por medio de la Ecuación (5).

$$i_{dloss} = Kp(V_{dref} - V_{dc}) + Ki \int V_{dref} - V_{dc} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} I_{aref} \\ I_{bref} \\ I_{cref} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) \\ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} I_{dc} \\ I_{qc} \\ I_{oc} \end{bmatrix} \quad (5)$$

El voltaje de punto de acople común (PCC) son sincronizadas con la señal trifásica del PLL. El filtro pasa bajos extrae las componentes Id e Iq. En el controlador PI encuentra la diferencia entre el voltaje de salida (Vdc) y el voltaje de referencia del condensador (V_{dc_ref}), que está asociado al factor d, de las corrientes de cargas Id para obtener Idc [17][18].

Para obtener Iqc se agrega la componente “q” de la corriente de carga Iq por medio de la diferencia entre la amplitud de voltaje del terminal de carga y el valor de referencia que se alimenta al controlador PI [13][19].

Con el fin de mantener una compensación adecuada, resulta conveniente mantener constante el voltaje del enlace DC, además de que el controlador PI compensa las pérdidas de corriente activa utilizando los valores de ganancia [20]. Las componentes encontradas (I_{dc} , I_{qc}) se convierten en componentes abc por medio de la transformación de Park. El voltaje de referencia de los terminales PCC se comparan entre el voltaje del terminal de referencia y el voltaje del terminal detectado, por medio de la Ecuación (6).

$$V_{PCC} = \sqrt{\frac{2}{3}(v_{sa}^2 + v_{sb}^2 + v_{sc}^2)} \quad (6)$$

Para V_{pcc} se considera la caída de voltaje que puede presentar el sistema a causa de las perturbaciones a las cuales fue sometido. El controlador por modulación por ancho de pulso (PWM) genera los pulsos de conmutación para controlar el MLI, haciendo que las corrientes de fuente de referencia (I_{a_ref} , I_{b_ref} , I_{c_ref}) sigan a las corrientes detectadas (I_{sa} , I_{sb} , I_{sc}) [17][21].

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el caso de estudio se analiza el sistema de distribución de la IEEE de 13 barras mostrado en la figura 2, en el cual una de sus barras es conectada a una carga no lineal, para identificar los cambios de magnitud en la forma de onda de corriente, así como la distorsión armónica que puede causar dicha carga.

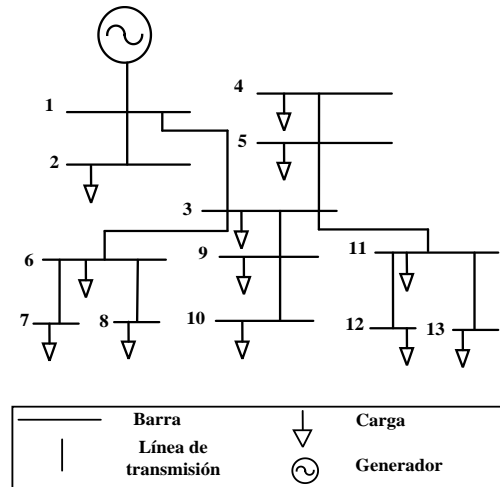


Figura 2: Sistema de Distribución IEEE 13 Barras.

Para el sistema propuesto se analiza el comportamiento en condiciones normales de la barra 7, a la cual, se le implementará una carga no línea, para verificar los cambios en las formas de onda de corriente y el aumento del THDi en un tiempo de simulación de 150 ms. La barra 7 del sistema de prueba de 13 barras de la IEEE en condiciones normales presenta un voltaje de 1 pu con corrientes de 0.15 pu, con respecto a la corriente base de 200 A manteniendo su forma de onda de corriente y de voltaje en condiciones estables y sin perturbaciones; así como se muestra en la Fig. 3 y la Fig. 4,



respectivamente.

Para constatar el rendimiento del sistema ante la presencia de carga no lineal, se conecta como carga no lineal al puente rectificador de diodos con una carga RC. La carga se encuentra conectada en $t=0$. Esta carga conectada en dicha barra produce armónicos en forma de onda de corriente de carga que deforman y disminuyen la onda de corriente, como lo muestra la Fig. 5.

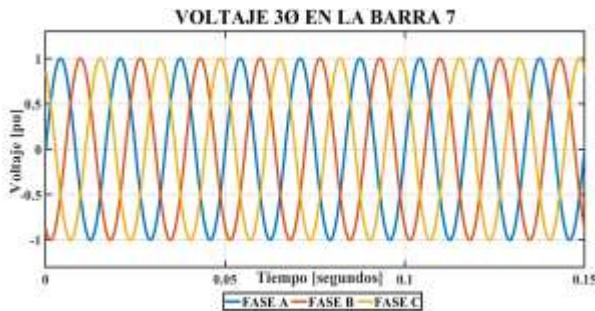


Figura 3: Voltaje trifásico (p.u) en Barra 7 sin carga no lineal

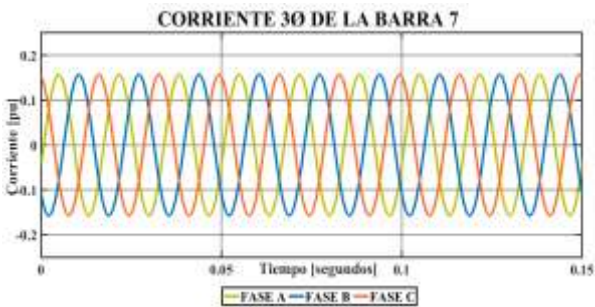


Figura 4: Corriente trifásica (pu) en Barra 7 sin carga no lineal.

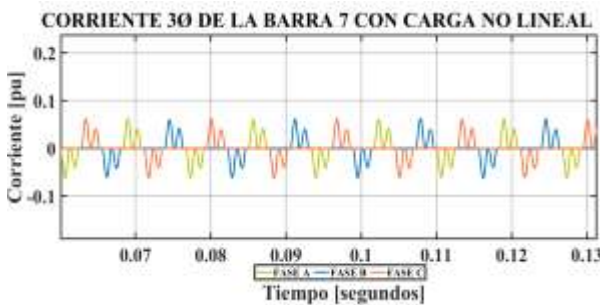


Figura 5: Corriente trifásica de la barra 7 con carga no lineal.

El THD de voltaje que produce la carga no lineal es de 3.39% aproximadamente, aunque la distorsión armónica es muy baja, esta es capaz de deforma la onda original de voltaje. En la Fig. 6, la THD provocada por la carga no lineal ocasiona el incremento del THDi de la barra 7 en un 135.20% en la fase A, 135.24% en la fase B y en la fase C al 134.27 %.

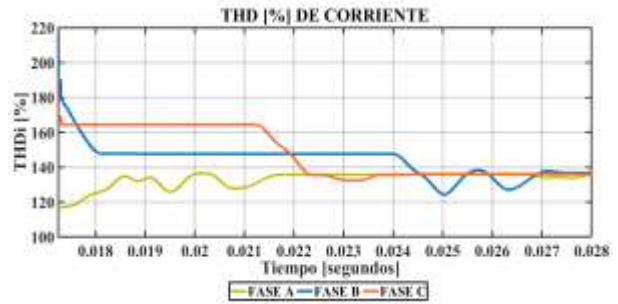


Figura 6: THDi (%) de Corriente de la barra 7 sin compensación.

Las fases A, B y C generan un pico de THD al momento de la energización, las cuales se estabilizan en un periodo de 500 ms; después de dicho periodo de tiempo el THDi de las 3 fases se mantienen en los valores indicados. La fase A empieza con un contenido armónico de corriente del 120% aproximadamente, y al cabo de 10 ms empieza el crecimiento del THDi, hasta los valores ya mencionados. De igual manera la Fase C empieza con un THDi del 165% para posteriormente disminuir e igualar a las demás fases. En cambio, la Fase B es la que tiene el pico más alto, alcanzando aproximadamente el 180% de THDi al momento de la energización. Sin embargo, aunque el THDi disminuye después de la energización, los niveles alcanzados son muy altos, que generan efectos negativos. Para poder suprimir la distorsión armónica de corriente, se conecta en la misma barra de análisis el MLI D- STATCOM, de esta manera se inyecta la corriente de fase en el sistema en oposición a las corrientes armónicas que genera la carga no lineal y así compensar los armónicos de corriente.

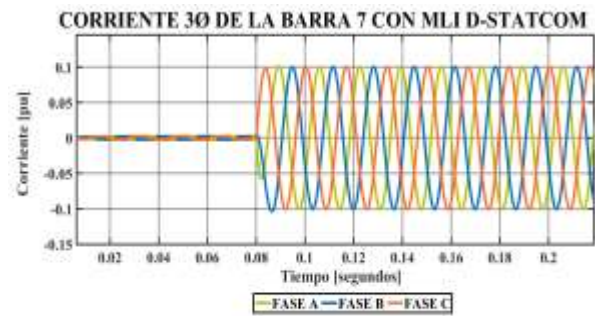


Figura 7: Corriente trifásica (pu) de la Barra 7 después de la compensación

La forma de onda de la Fig. 7 corresponde a la corriente de la barra 7 después de haber inyectado la compensación con el MLI D-STATCOM en donde se aprecia que la forma de onda vuelve a su estado de operación normal libre de distorsión armónica. La forma de onda de voltaje, después de la compensación, vuelve a los estados iniciales, mostrando una onda sinusoidal libre de distorsión, así como lo muestra la Fig. 8.



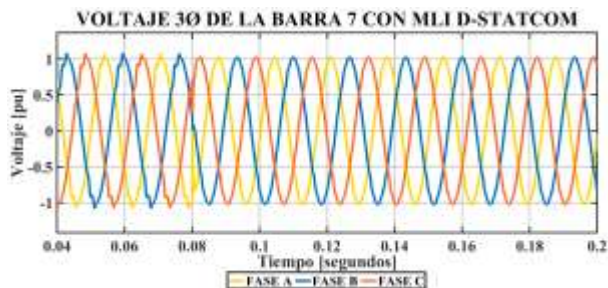


Figura 8: Voltaje trifásico (pu) de la Barra 7 después de la compensación.

El MLI D-STATCOM entra en funcionamiento en $t=80\text{ms}$ después de haber energizado la barra, este tiempo está determinado por el interruptor trifásico conectado entre la barra de análisis y el compensador con la finalidad de mostrar. La diferencia de forma de ondas de corriente que se tiene antes y después de la implementación del MLI D-STATCOM; es decir que entre los tiempos $t=0\text{s}$ y $t=80\text{ms}$ existe deformación de la onda de corriente como lo mostraba la Fig. 5, y de ahí en adelante entra en funcionamiento la compensación ya señalada.

Como muestra la Figura 9 el THDi de la barra 7 decae considerablemente sus valores de distorsión armónica, obteniendo una mejora en las corrientes de la barra con la carga no lineal y el compensador conectados simultáneamente. Los valores de THDi y de THDv encontrados después de la compensación se muestran en las Tablas comparativas 1 y 2.

Tabla 1. Comparación THDi en la barra 7 con y sin compensación MLI D-STATCOM

Fases	THD DE CORRIENTE (%)	
	Antes de la compensación	Después de la compensación
A	135.20%	2.38%
B	135.24%	2.41%
C	134.27%	2.36%

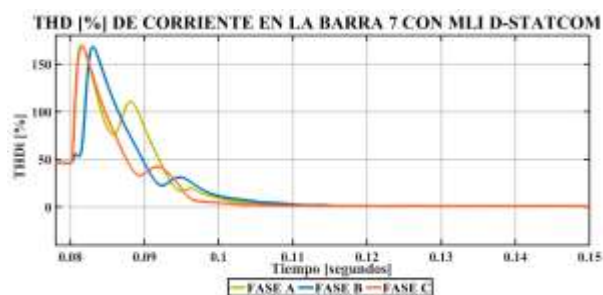


Figura 9: THD (%) de Corriente de la Barra 7 después de la compensación

Tabla 2: Comparación THDv en la barra 7 con y sin compensación MLI D-STATCOM

Fases	THD DE VOLTAJE (%)	
	Antes de la compensación	Después de la compensación
Fase A	3.391%	1.56%
Fase B	3.388%	1.6%
Fase C	3.368%	1.53%

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La capacidad de mejorar la distorsión armónica total de corriente (THDi), del inversor multinivel en cascada de tres niveles D-STATCOM, analizado bajo el esquema de control, con la técnica del marco de referencia síncrono, en presencia de una carga no lineal, en el sistema de distribución IEEE de 13 barras, el cual fue modelado y simulado en el software MATLAB/Simulink, es eficiente para mejorar los niveles de calidad de la energía en el sistema de distribución.

El inversor multinivel (MLI) D-STATCOM reduce casi en su totalidad el THDi en cada una de las líneas de la barra 7, cuando en esta se encuentra conectada una carga no lineal, además de que la corriente recupera su magnitud inicial de 200 amperios luego de la compensación.

Las formas de ondas tanto de corrientes como de voltajes con carga no lineal muestran señales sinusoidales perfectas luego de la implementación del MLI D-STATCOM según los resultados obtenidos.

Los valores de corrientes no se ven afectados después de la conexión del compensador, así mismo los voltajes mantienen su magnitud de operación normal entre 0.95 pu y 1.05 pu en cada una de las barras del sistema.

La carga no lineal implementada no afecta notoriamente al THD de voltaje, sin embargo, la implementación de la compensación a través del MLI D-STATCOM reduce el THDv a casi su totalidad, teniendo el 1% de distorsión.

En cuanto al THDi, que, si se ve más afectado por la carga no lineal, se encuentra muy por debajo de los límites máximos establecidos por las normas y parámetros de calidad de la energía IEEE 519 y ISO 61000, que se tomaron de referencia, siendo el THDi más alto de 135.27% sin la compensación y 2.36% después de la compensación. Así mismo el armónico de tercer orden que es el más alto con 32.36% se ve reducido a un 0.67% en una frecuencia fundamental de 60Hz.



Es por esto que resulta una estrategia eficaz la implementación del MLI D- STATCOM para mejorar la calidad de energía, ya que su funcionamiento permite reducir notablemente el THDi que generan las cargas no lineales en el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Shadangi, S. D. Swain, and P. K. Ray, "Experimental realization of DSTATCOM for Power Quality Enhancement under Various Load Perturbations," 3rd Int. Conf. Energy, Power Environ. Towar. Clean Energy Technol. ICEPE 2020, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1109/ICEPE50861.2021.9404488.
- [2] S. S. Kadam and Y. K. Kanse, "DSTATCOM for Power Quality Improvement," 2018 Int. Conf. Circuits Syst. Digit. Enterp. Technol. ICCSDET 2018, 2018, doi: 10.1109/ICCSDET.2018.8821066.
- [3] K. R. Shandilya and U. S. Patel, "Mitigation of total harmonic distortion using cascaded MLI-DSTATCOM in distribution network," IEEE Int. Conf. Power, Control. Signals Instrum. Eng. ICPCSI 2017, pp. 2439–2445, 2018, doi: 10.1109/ICPCSI.2017.8392155.
- [4] P. Bapaiah, "Power Quality Improvement by using DSTATCOM," vol. 2, no. 4, pp. 1–12, 2013.
- [5] S. Karare and V. M. Harne, "Modelling and simulation of improved operation of D-STATCOM in distribution system for power quality improvement using MATLAB Simulink tool," Proc. Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2017, vol. 2017-Janua, no. Icesa, pp. 346–350, 2017, doi: 10.1109/ICECA.2017.8212831.
- [6] R. Pandey, R. Nath Tripathi, and T. Hanamoto, "Comprehensive Analysis of LCL Filter Interfaced Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter-Based DSTATCOM.pdf," 2017.
- [7] P. M. Saradva, K. T. Kadivar, M. H. Pandya, and A. J. Rana, "Application of D-STATCOM to control power flow in distribution line," 2016 Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain. ICEETS 2016, pp. 479–484, 2016, doi: 10.1109/ICEETS.2016.7583802.
- [8] K. T. Maheswari, R. Bharanikumar, V. Arjun, R. Amrishi, and M. Bhuvanesh, "A comprehensive review on cascaded H-bridge multilevel inverter for medium voltage high power applications," Mater. Today Proc., vol. 45, pp. 2666–2670, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.519.
- [9] J. A. Araque Gallardo, J. L. Diaz Rodriguez, and A. P. Garcia, "THD optimization of a single phase cascaded multilevel converter using PSO technique," 2013 Power Electron. Power Qual. Appl. PEPQA 2013 - Proc., no. November 2017, 2013, doi: 10.1109/PEPQA.2013.6614944.
- [10] Abdullah M. Noman; Abdullrahman A. Al-Shamma'a; Khaled E. Addoweesh; Ayman A. Alabduljabbar and Abdurrahman I. Alolah, "Cascaded Multilevel Inverter Topology.pdf," 11 April 2018, 2018.
- [11] Sujono, I. Sudiharto, and O. A. Qudsi, "Application of D-STATCOM to reduce unbalanced load using synchronous reference frame theory," EECCIS 2020 - 2020 10th Electr. Power, Electron. Commun. Control. Informatics Semin., no. 3, pp. 65–70, 2020, doi: 10.1109/EECCIS49483.2020.9263476.
- [12] M. Montufar, W. Pavón, M. Jaramillo, and S. Simani, "Control Strategy Applied to Smart Photovoltaic Inverters for Reactive Power Exchange Through Volt-Var Control to Improve Voltage Quality in Electrical Distribution Networks BT - Communication, Smart Technologies and Innovation for Society," 2022, pp. 357–366.
- [13] S. Maurya, D. Mishra, K. Singh, A. K. Mishra, and Y. Pandey, "An Efficient Technique to reduce Total Harmonics Distortion in Cascaded H- Bridge Multilevel Inverter," Proc. 2019 3rd IEEE Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Technol. ICECCT 2019, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ICECCT.2019.8869424.
- [14] X.-P. Zhang and Z. Yan, "Energy Quality: A Definition," IEEE Open Access J. Power Energy, vol. 7, no. July, pp. 430–440, 2020, doi: 10.1109/oajpe.2020.3029767.
- [15] H. Andrei, P. C. Andrei, L. M. Constantinescu, R. Beloiu, E. Cazacu, and M. Stanculescu, "Electrical power systems," Power Syst., vol. 2, pp. 3–47, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-51118-4_1.
- [16] S. Pinzón and W. Pavón, "Diseño de Sistemas de Control Basados en el Análisis del Dominio en Frecuencia," Rev. Técnica "Energía," vol. 15, no. 2, pp. 76–82, 2019, doi: 10.37116/revistaenergia.v15.n2.2019.380.
- [17] V. R. Kota and S. Vinnakoti, "SRF-based control of unified power quality conditioner for power quality enhancement," Int. Conf. Electr. Electron. Signals, Commun. Optim. EESCO 2018, no. January, 2018, doi: 10.1109/EESCO.2015.7253768.
- [18] W. Rohouma, R. S. Balog, A. A. Peerzada, and M. M. Begovic, "D-STATCOM for harmonic mitigation in low voltage distribution network with high penetration of nonlinear loads," Renew. Energy, vol. 145, pp. 1449–1464, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.05.134.

- [19] P. E. Melin et al., "Analysis and control strategy for a current-source based D-STATCOM towards minimum losses," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 116, no. September 2019, p. 105532, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.105532.
- [20] J. C. Mendoza-Niebles, L. D. Pabon-Fernandez, E. A. Caicedo-Peñaranda, A. Pardo-García, and J. L. Díaz-Rodríguez, "Control síncrono de potencia de un D-STATCOM de bajo costo," *Aibi Rev. Investig. Adm. e Ing.*, vol. 8, no. 3, pp. 108–117, 2020, doi: 10.15649/2346030x.881.
- [21] S. Choudhury, P. Bhowmik, and P. K. Rout, "Economic load sharing in a D-STATCOM Integrated Islanded Microgrid based on Fuzzy Logic and Seeker Optimization Approach," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 37, no. September 2017, pp. 57–69, 2018, doi: 10.1016/j.scs.2017.11.004.



Marlon Callacando Guña. - (Y'1994-M'10). Received the B.S. of Electrical Engineering from Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador. His research interests include improving electrical power quality by mitigating total harmonic distortion.



Wilson Pavón Vallejos. - (Y'1989-M'10). Received the B.S. of Electrical Engineering from the ESPE (Army Polytechnic School) in Ecuador in 2014, and the MSc degree in Automation and Control in 2016 from Newcastle University in United Kingdom, and the PhD degree in Ferrara-Italy in 2021. His areas of interest are renewable energy, energy efficiency, techniques of control of Power converters and inverters, artificial intelligence as technique of control. He joined as occasional professor of Universidad Politécnica Salesiana in Ecuador.



Leony Ortiz Matos. - (Y'1982). He received his MSc. and Engineering Degree in Engineering in Automatics from the Polytechnic Superior Institute Julio Antonio Mella (ISPJAM) of the Universidad de Oriente, Cuba. He is PhD degree in Engineering at the Pontifical Bolivarian University - Colombia-Medellin, he is a member of the of the Smart Grids Research Group (GIREI). He is part of the academic team of the Electrical Engineering career at Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador. His main research interests research interests Automation and Control, Robust Control and Fault Tolerant Control, Micro-grids Fault Tolerant Control, Hybrid Intelligent Micro-grids, AC/DC