



*Impacto de la sobrecarga de Energía Reactiva en Sistemas Fotovoltaicos
conectados a la Red*

*Impact of Reactive Energy overload on Photovoltaic Systems connected to the
Grid*

*Impacto da sobrecarga de Energia Reactiva em Sistemas Fotovoltaicos ligados à
Rede*

Marvin Daik Castellanos-Campana ^I
marvin.castellano2066@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-9802-5352>

William Armando Hidalgo-Osorio ^{II}
william.hidalgo7885@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6783-0947>

Paco Jovanni Vasquéz-Carrera ^{III}
paco.vasquez@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4734-8584>

Correspondencia: marvin.castellano2066@utc.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 24 de mayo de 2024 * **Aceptado:** 13 de junio de 2024 * **Publicado:** 09 de julio de 2024

- I. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.

Resumen

Este trabajo analiza el impacto de la sobrecarga de energía reactiva en sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. Mediante un enfoque que combina análisis teóricos y una simulación realizada en MatLab, a través de ello se evaluó cómo la inyección excesiva de energía reactiva afecta la calidad del suministro eléctrico. Los resultados demostraron que bajos factores de potencia inducen fluctuaciones significativas en los voltajes de los nodos, provocando problemas de regulación de tensión, pérdidas adicionales y distorsión armónica. Se exploraron estrategias de reducir el efecto de la energía reactiva en sistemas fotovoltaicos conectados a la red, como análisis en el control de inversores, diseños optimizados y esquemas de compensación reactiva. Este estudio resalta la importancia de gestionar adecuadamente la energía reactiva para mejorar la integración de sistemas fotovoltaicos, optimizar su rendimiento y contribuir a un suministro energético más eficiente y sostenible.

Palabras clave: Energía reactiva; Sobrecarga; Sistemas fotovoltaicos; MatLab, regulación de tensión.

Abstract

This work analyzes the impact of reactive energy overload in photovoltaic systems connected to the electrical grid. Through an approach that combines theoretical analyzes and a simulation carried out in MatLab, it was evaluated how the excessive injection of reactive energy affects the quality of the electrical supply. The results demonstrated that low power factors induce significant fluctuations in node voltages, causing voltage regulation problems, additional losses and harmonic distortion. Strategies to reduce the effect of reactive power in grid-connected photovoltaic systems were explored, such as inverter control analysis, optimized designs and reactive compensation schemes. This study highlights the importance of properly managing reactive energy to improve the integration of photovoltaic systems, optimize their performance and contribute to a more efficient and sustainable energy supply.

Keywords: Reactive energy; Overload; Photovoltaic systems; MatLab, voltage regulation.

Resumo

Este trabalho analisa o impacto da sobrecarga de energia reativa em sistemas fotovoltaicos ligados à rede elétrica. Através de uma abordagem que combina análises teóricas e uma simulação

realizada em MatLab, avaliou-se como a injeção excessiva de energia reativa afeta a qualidade do fornecimento elétrico. Os resultados demonstraram que baixos fatores de potência induzem flutuações significativas nas tensões dos nós, causando problemas de regulação de tensão, perdas adicionais e distorção harm nica. Foram exploradas estratégias para reduzir o efeito da potência reativa em sistemas fotovoltaicos ligados à rede, como a análise de controle de inversores, projetos otimizados e esquemas de compensação reativa. Este estudo realça a importância de gerir adequadamente a energia reativa para melhorar a integração dos sistemas fotovoltaicos, otimizar o seu desempenho e contribuir para um fornecimento de energia mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Energia reativa; Sobrecarga; Sistemas fotovoltaicos; MatLab, regulação de tensão.

Introducción

En las últimas décadas, la creciente demanda de energía y la creciente preocupación por el cambio climático han impulsado un aumento significativo en la adopción de fuentes de energía renovables, particularmente los sistemas fotovoltaicos (FV) conectados a la red eléctrica [1]. A medida que se integran más sistemas FV en la red, surge la necesidad de abordar los desafíos técnicos asociados con su funcionamiento óptimo y su impacto en la calidad de la energía suministrada [2].

Uno de los aspectos críticos a considerar es la gestión de la energía reactiva en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. La energía reactiva, medida en voltio-amperios reactivos (VAR), es un componente esencial del flujo de potencia en los sistemas de distribución de energía eléctrica. Representa la parte de la potencia aparente que no realiza un trabajo neto, sino que oscila entre los campos eléctricos y magnéticos de los componentes del sistema [3]. Sin embargo, una sobrecarga de energía reactiva puede provocar problemas significativos, como caídas de tensión, pérdidas de transmisión adicionales, sobrecalentamiento de equipos y una reducción general de la eficiencia del sistema [4].

Cuando los sistemas FV se conectan a la red, pueden contribuir a la generación o consumo de energía reactiva, dependiendo de varios factores, como la tecnología del inversor, la configuración del sistema y las condiciones de operación [5]. Los inversores fotovoltaicos modernos tienen la capacidad de controlar la potencia reactiva, lo que les permite operar en modo de factor de potencia unitario, modo de control de tensión o modo de control de potencia reactiva [6]. Sin embargo, una gestión inadecuada de la energía reactiva puede limitar la capacidad de integración de los sistemas

FV en la red, comprometer la calidad del suministro de energía y aumentar los costos operativos para los operadores de la red y los propietarios de los sistemas FV [7].

La sobrecarga de energía reactiva en los sistemas FV puede ocurrir debido a varios factores. Uno de ellos es la operación de los inversores FV en modo de factor de potencia unitario, lo que puede provocar un consumo excesivo de energía reactiva, especialmente durante períodos de baja irradiación solar [8]. Además, los efectos capacitivos o inductivos de los cables y transformadores en los sistemas FV pueden contribuir a la generación o consumo de energía reactiva [9].

Las consecuencias de una sobrecarga de energía reactiva en los sistemas FV conectados a la red son significativas. En primer lugar, puede provocar caídas de tensión en la red de distribución, lo que puede afectar la calidad del suministro de energía y causar problemas de regulación de tensión [10]. Además, la circulación de corrientes reactivas excesivas puede aumentar las pérdidas de potencia en los conductores y transformadores, reduciendo la eficiencia general del sistema [11].

Otro aspecto importante es la distorsión armónica causada por la sobrecarga de energía reactiva. Los inversores FV pueden generar corrientes armónicas que se inyectan en la red, lo que puede causar interferencias electromagnéticas y problemas de calidad de la energía [12]. Además, la operación de los sistemas FV en condiciones de sobrecarga de energía reactiva puede provocar un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contradice los objetivos ambientales de las energías renovables [13].

Además, se analizaron estrategias de mitigación y control para gestionar eficazmente la energía reactiva en los sistemas FV conectados a la red. Esto puede incluir técnicas de control de inversores avanzadas, como el control de Potencia Reactiva basado en droop [14], el control de tensión adaptativo [15] y el control de potencia reactiva basado en la posición del punto de máxima potencia [16]. También se considerarán diseños de sistemas optimizados, como la ubicación estratégica de bancos de condensadores [17] y la implementación de algoritmos de despacho óptimo de potencia reactiva [18].

Otra estrategia aplicable es el uso de esquemas de compensación reactiva, como la instalación de dispositivos de compensación estática de VAR (SVC) [19] o la integración de sistemas de almacenamiento de energía con capacidades de control de potencia reactiva [20]. Además, se analizarán enfoques operativos mejorados, como la coordinación entre múltiples sistemas FV y la integración de sistemas de gestión de energía inteligentes [21].

Con lo analizado anteriormente, se puede mejorar la integración de los sistemas FV en la red, optimizar su rendimiento y contribuir a un suministro de energía más eficiente y confiable. Esto es fundamental para aprovechar al máximo el potencial de los sistemas fotovoltaicos como una fuente de energía renovable y sostenible, al tiempo que se garantiza la estabilidad y la calidad de la red eléctrica.

Este proyecto se centr  en evaluar el impacto de la sobrecarga de energía reactiva en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Se analizarán los mecanismos que conducen a la generación o consumo excesivo de energía reactiva, así como sus consecuencias en términos de pérdidas de potencia, distorsión armónica, regulación de tensión y otros aspectos relevantes de la calidad de la energía.

Metodología

Para abordar el impacto de la sobrecarga de energía reactiva en sistemas fotovoltaicos conectados a la red, se empleará un enfoque metodológico que combina análisis teóricos, simulaciones numéricas y estudios experimentales. Esta estrategia multifacética permitirá una comprensión profunda de los mecanismos subyacentes y las consecuencias prácticas de la sobrecarga de energía reactiva, así como el desarrollo y validación de estrategias de mitigación efectivas.

Procedimiento

Análisis teórico

Se llevará a cabo un estudio exhaustivo de los principios fundamentales y las teorías relacionadas con la generación, flujo y control de la energía reactiva en sistemas de distribución eléctrica. Esto incluirá una revisión de conceptos clave como el factor de potencia, analizando su comportamiento en sistemas fotovoltaicos conectados a la red y su impacto en la eficiencia y estabilidad del sistema eléctrico; la regulación de tensión, evaluando cómo la energía reactiva influye en la calidad del suministro eléctrico; las pérdidas de potencia, midiendo las pérdidas asociadas con la circulación de energía reactiva en conductores y transformadores; y la distorsión armónica, investigando la generación de armónicos por inversores fotovoltaicos y su impacto en la calidad de la energía.

Simulación en sistema de prueba IEEE de 6 nodos

Para analizar el impacto de la sobrecarga de energía reactiva en sistemas fotovoltaicos conectados a la red, se utiliza un sistema de prueba basado en el sistema IEEE de 6 nodos. Este sistema se configura con parámetros específicos de tensión y potencia, así como con datos detallados de líneas de transmisión y cargas. El objetivo principal es evaluar cómo diferentes factores de potencia inductivos en la generación fotovoltaica afectan los voltajes en los nodos del sistema.

Parámetros del Sistema

El sistema se configura con una tensión nominal de $V_{nominal} = 13.8 \text{ kV}$ y una Potencia base de 10 MVA . A partir de estos valores, se calcula la impedancia base (Z_{base}) y la admitancia base (Y_{base}), utilizando las siguientes fórmulas:

$$(Z_{base}) = \frac{V_{nominal}^2}{S_{base}}$$

$$(Y_{base}) = \frac{1}{(Z_{base})}$$

Datos del Sistema y Cargas

El sistema IEEE de 6 nodos se modela con datos específicos de líneas de transmisión y cargas. Las líneas de transmisión se describen mediante sus resistencias y reactancias, y las cargas se especifican en términos de potencia activa (P) y Potencia Reactiva (Q) en cada nodo.

Generación Fotovoltaica

La capacidad de generación fotovoltaica se establece en 1 MW . Para analizar el impacto de la energía reactiva, se consideran diferentes factores de potencia inductivos (0.80, 0.85, 0.90, 0.95). Estos factores de potencia determinan la cantidad de potencia reactiva inyectada por el sistema fotovoltaico.

Construcción de la Matriz de Admitancia

Se construye la matriz de admitancia Y del sistema utilizando los datos de las líneas de transmisión. La admitancia entre dos nodos se calcula como el inverso de la impedancia total de la línea que los

conecta. La matriz de admitancia se llena considerando las conexiones entre los nodos y sus respectivas impedancias:

$$Y_{ij} = -\frac{1}{Z_{ij}}$$

$$Y_{ii} = \sum_{j \neq i} \frac{1}{Z_{ij}}$$

Potencias Inyectadas en Cada Nodo

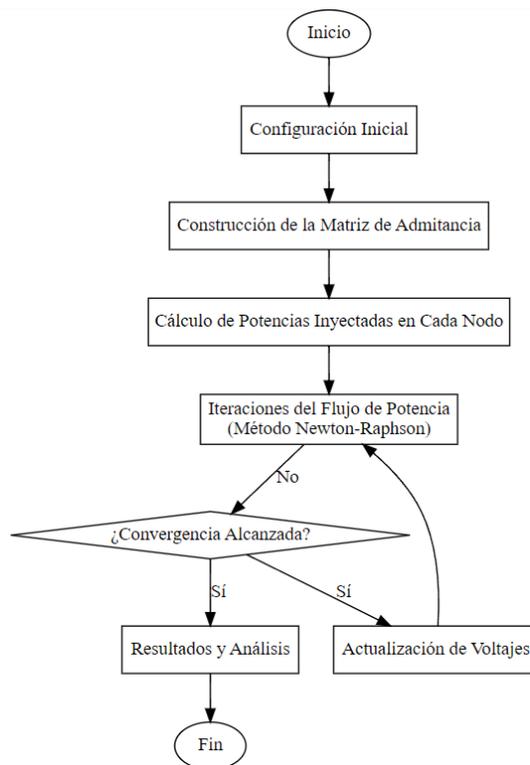
Las potencias inyectadas en cada nodo ($S = P + jQ$) se calculan en unidades por unidad (pu) utilizando la base de potencia. Las cargas se representan como potencias negativas, mientras que la generación fotovoltaica se modela como una inyección de potencia positiva en el nodo correspondiente.

Iteraciones del Flujo de Potencia

Para resolver el flujo de potencia en el sistema, se utiliza el método de Newton-Raphson iterativo. El nodo 1 se considera como el bus de referencia (slack bus) con tensión fija. Las iteraciones se realizan hasta que la diferencia entre los voltajes calculados en dos iteraciones consecutivas sea menor que una tolerancia predefinida (10^{-6}). La fórmula iterativa para actualizar los voltajes es:

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left(\frac{S_i^*}{V_i^*} - \sum_{j \neq i} Y_{ij} V_j \right)$$

Figura 1: Diagrama de Flujo Análisis del Impacto de la Energía Reactiva sobre un nodo de prueba IEEE de 6 nodos



Materiales: Para realizar el análisis del impacto de la sobrecarga de energía reactiva en sistemas fotovoltaicos conectados a la red, se utilizaron los siguientes materiales y herramientas: una computadora con suficiente capacidad de procesamiento, MATLAB R2024a o una versión compatible, y los paquetes MATLAB Power System Toolbox y MATLAB Optimization Toolbox. Estos proporcionan funciones y herramientas específicas para el análisis y simulación de sistemas eléctricos. Además, se emplearon datos detallados del sistema IEEE de 6 nodos, incluyendo resistencia, reactancia y susceptancia de las líneas de transmisión, potencias activas y reactivas en cada nodo, y capacidad de generación y factores de potencia inductivos de la generación fotovoltaica. Para escribir y ejecutar el script de MATLAB, se utilizó un editor de texto o entorno de desarrollo integrado (IDE) como MATLAB Editor. Finalmente, las herramientas de visualización de MATLAB se emplearon para graficar los resultados del análisis de voltajes en los nodos del sistema de potencia, permitiendo una evaluación del comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de carga reactiva

Resultados

Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones numéricas en el sistema de prueba IEEE de 6 nodos revelaron el impacto significativo que tiene la sobrecarga de energía reactiva en los voltajes de los nodos del sistema de potencia. La Tabla 1 muestra los valores de voltaje en cada nodo para diferentes factores de potencia inductivos del sistema fotovoltaico.

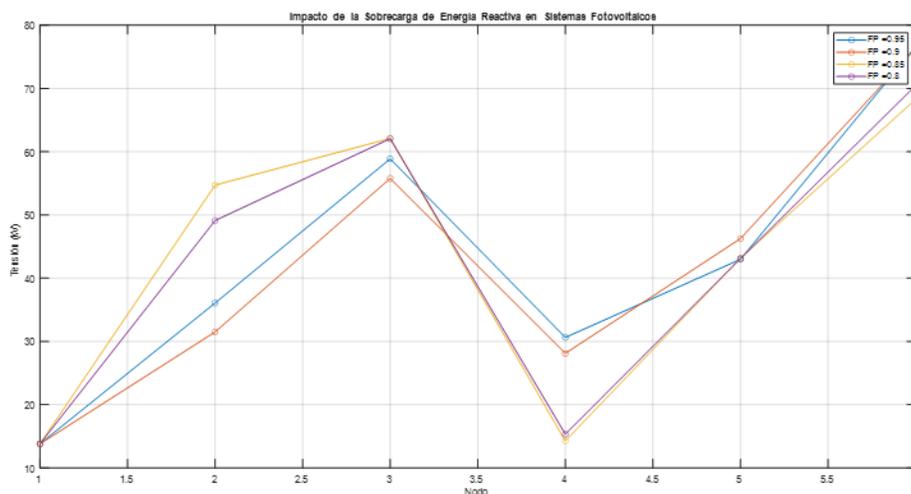
Tabla 1: Voltajes en cada nodo (kV) para diferentes factores de potencia del sistema fotovoltaico

Factor de Potencia	FP = 0.95	FP = 0.90	FP = 0.85	FP = 0.80
	13.8	13.8	13.8	13.8
Voltajes en cada nodo (kV)	36.074	31.495	54.727	49.126
	58.888	55.787	62.102	62.075
	30.635	28.11	14.272	15.329
	42.993	46.263	43.16	43.10
	76.624	76.315	68.303	70.415

Los resultados demuestran que a medida que el factor de potencia del sistema fotovoltaico se reduce, lo que implica una mayor componente inductiva y, por lo tanto, una mayor inyección de energía reactiva, los voltajes en los nodos del sistema de potencia experimentan variaciones significativas. En algunos nodos, los voltajes aumentan considerablemente, mientras que, en otros, los voltajes disminuyen.

Esta fluctuación en los niveles de voltaje puede afectar negativamente la estabilidad y eficiencia del sistema de distribución eléctrica. Voltajes excesivamente altos o bajos en los nodos pueden causar problemas de regulación de tensión, aumento de pérdidas de potencia en las líneas de transmisión y transformadores, y posibles daños a los equipos y cargas conectadas.

La Figura 2 del documento ilustra gráficamente el impacto de la energía reactiva en los sistemas fotovoltaicos, mostrando cómo los voltajes en los nodos varían drásticamente a medida que se reduce el factor de potencia del sistema fotovoltaico.

Figura 2: Simulación del Impacto de la Energía Reactiva en Sistemas Fotovoltaicos

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio ponen de manifiesto la necesidad crítica de abordar la gestión de la energía reactiva en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. La sobrecarga de energía reactiva, evidenciada por los bajos factores de potencia inductivos, tiene un impacto significativo en los voltajes de los nodos del sistema de distribución, provocando fluctuaciones que pueden comprometer la estabilidad y eficiencia del sistema.

Los voltajes excesivamente altos o bajos en los nodos pueden causar varios problemas técnicos. Por un lado, los voltajes elevados pueden generar estrés en el aislamiento de los equipos y aumentar el riesgo de fallas eléctricas. Por otro lado, los voltajes bajos pueden afectar el desempeño de las cargas y provocar caídas de tensión que violen los estándares de calidad de la energía. Estas fluctuaciones de voltaje también pueden causar problemas de regulación de tensión, lo que requiere ajustes frecuentes en los transformadores y otros dispositivos de control.

Además de los problemas de regulación de tensión, la sobrecarga de energía reactiva también contribuye a un aumento en las pérdidas de potencia en las líneas de transmisión y transformadores. Estas pérdidas adicionales reducen la eficiencia general del sistema de distribución y pueden resultar en costos operativos más altos para los operadores de la red y los propietarios de los sistemas fotovoltaicos.

Otro aspecto importante a considerar es el impacto de la sobrecarga de energía reactiva en la calidad de la energía suministrada. Los inversores fotovoltaicos pueden generar corrientes armónicas que

se inyectan en la red, y estas corrientes armónicas pueden verse amplificadas en condiciones de sobrecarga de energía reactiva. Esto puede causar interferencias electromagnéticas y otros problemas de calidad de la energía, afectando el funcionamiento adecuado de los equipos y cargas conectados a la red.

Los resultados obtenidos en este estudio resaltan la importancia de implementar estrategias efectivas para disminuir la sobrecarga de energía reactiva en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Algunas de las estrategias exploradas en este trabajo incluyen técnicas de control de inversores, diseños de sistemas optimizados, esquemas de compensación reactiva y enfoques operativos mejorados.

Conclusiones

La sobrecarga de energía reactiva, representada por factores de potencia inductivos bajos en los sistemas fotovoltaicos, tiene un impacto directo en los voltajes de los nodos del sistema de distribución. Los resultados demostraron que a medida que el factor de potencia disminuye, los voltajes en los nodos pueden fluctuar drásticamente, con algunos nodos experimentando voltajes excesivamente altos y otros voltajes bajos.

Estas variaciones en los niveles de voltaje pueden provocar problemas de regulación de tensión, aumentar las pérdidas de potencia en las líneas de transmisión y transformadores, y comprometer la calidad del suministro de energía. Además, pueden generar estrés en el aislamiento de los equipos y afectar el rendimiento de las cargas conectadas a la red.

Otro aspecto importante es la distorsión armónica causada por la sobrecarga de energía reactiva. Los inversores fotovoltaicos pueden generar corrientes armónicas significativas, y estas corrientes armónicas pueden verse amplificadas en condiciones de sobrecarga de energía reactiva, causando interferencias electromagnéticas y otros problemas de calidad de la energía.

Las estrategias de mitigación exploradas en este estudio, que incluyen técnicas de control de inversores avanzadas, diseños de sistemas optimizados, esquemas de compensación reactiva y enfoques operativos mejorados, han demostrado su potencial para gestionar eficazmente la energía reactiva en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Referencias

1. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), "Renewables 2022 Global Status Report," 2022. [Online]. Available: <https://www.ren21.net/gsr-2022/>
2. M. Baudoin, M. Cader, and M. Petit, "Impact of the integration of renewable energy sources on the electrical power grid," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 37, no. 1, pp. 21-33, 2021.
3. G. W. Chang, S. Y. Chu, and H. L. Wang, "An analytical approach for reactive power allocation with loss minimization in power delivery systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, no. 4, pp. 2436-2444, 2005.
4. R. A. Walling, R. Saint, R. C. Dugan, J. Burke, and L. M. Kojovic, "Summary of distributed resources impact on power delivery systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 3, pp. 1636-1644, 2008.
5. F. Shahnia, A. Arefi, and G. Ledwich, "Reactive power management in grid-connected photovoltaic systems: A review," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1-6, 2016.
6. M. Liserre, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Stability of photovoltaic and wind turbine grid-connected inverters for a large set of grid impedance values," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 21, no. 1, pp. 263-272, 2006.
7. F. Katiraei, and J. R. Agüero, "Solar PV integration challenges," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 9, no. 3, pp. 62-71, 2011.
8. V. Sharma, S. S. Chandel, and A. Srivastava, "Reactive power management of grid-connected photovoltaic power plant with energy storage system," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 58, no. 2, pp. 1517-1527, 2022.
9. A. Cabrera-Tobar, E. Bullich-Massagué, M. Aragüés-Peñalba, and O. Gomis-Bellmunt, "Photovoltaic reactive power capability and its impact on grid integration: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 143, p. 110893, 2021.
10. A. Samadi, L. Söder, and E. Eriksson, "Reactive power capability of solar photovoltaic systems with energy storage systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 37, no. 3, pp. 1834-1843, 2022.

11. D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 25, no. 3, pp. 814-820, 2010.
12. F. Molina-Garcia, R. S. Herrera, and P. Rodriguez, "Harmonics disturbance assessment from grid-connected photovoltaic systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 5, pp. 2253-2263, 2018.
13. Y. Gu, J. M. Guerrero, and X. Zhang, "Reactive power control with photovoltaic inverters for greenhouse gas emissions reduction," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 12, no. 1, pp. 193-202, 2021.
14. A. D. T. Le, M. A. Kashem, M. Negnevitsky, and G. Ledwich, "Transformerless reactive power control methods with competitive abilities compared to transformers," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 5, pp. 5548-5559, 2018.
15. J. A. P. Lopes, P. M. R. Almeida, and F. J. Soares, "Using vehicle-to-grid to maximize the integration of intermittent renewable energy resources in islanded electric grids," in *Proc. IEEE International Conference on Clean Electrical Power*, 2009, pp. 290-295.
16. H. G. Yeh, D. F. Gayme, and S. H. Low, "Adaptive VAR control for distribution circuits with photovoltaic generators," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 3, pp. 1656-1663, 2012.
17. M. Moghimi, A. T. Esar, M. Sabahi, and H. A. Abyaneh, "Optimal capacitor placement and sizing in radial distribution systems for reactive power compensation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 36, no. 4, pp. 3052-3063, 2021.
18. S. S. Reddy, P. Sanjeevikumar, S. Suryanarayana, and K. Kaushik, "A novel reactive power dispatch strategy for simultaneous voltage profile improvement and energy loss minimization," *IEEE Systems Journal*, vol. 15, no. 3, pp. 3865-3876, 2021.
19. M. Kaffash, S. J. Moghaddas-Tafreshi, and H. Javadi, "Optimal sizing and allocation of static VAR compensators in radial distribution systems with PV generators," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 36, no. 4, pp. 3169-3179, 2021.
20. J. D. Munoz, A. B. Movila, and N. G. Inuiguchi, "Reactive power control strategies for energy storage systems to support grid operation in the presence of photovoltaic generation," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 13, no. 2, pp. 1047-1056, 2022.

21. A. Y. Rezaee Akbar, A. Ahmadian, C. Rosenberg, and R. D. Cruz, "Coordinated control of distributed energy resources in active distribution networks using energy storage systems and reactive power control," IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 13, no. 1, pp. 415-424, 2022.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).