

IMPACTO DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA SOBRE EL FLUJO ARMÓNICO EN REDES DE DISTRIBUCIÓN.

IMPACT OF DISTRIBUTED GENERATION ON HARMONIC FLOW IN DISTRIBUTION NETWORKS.

EDWIN RIVAS TRUJILLO
DIEGO GONZÁLEZ HERRERA
NELSON ENRIQUE VERA PARRA

Resumen

En este artículo, se presentan los resultados de la evaluación del impacto de la generación distribuida en redes de distribución, obtenidos a partir del estudio de flujo armónico.

En primera instancia se presenta el modelo de pruebas IEEE 34 nodos con los ajustes propuestos. Así mismo, se muestra los escenarios de simulación planteados con base en un algoritmo de enfoque analítico, para la ubicación de la generación distribuida

Palabras clave: algoritmo, generación, distorsión armónica.

Abstract

The results of the evaluation of the impact of distributed generation in distribution networks, obtained from the study of harmonic flow presented in this article.

Model of IEEE 34-node test the proposed adjustments is presented in the first instance. Also, the simulation scenarios shown posed an algorithm based on analytical approach to the location of distributed generation.

Key words: algorithm, generation, harmonic distortion.

Introducción

La generación distribuida (GD) está penetrando de manera acelerada en los sistemas de potencia, lo cual unido al aumento de cargas no lineales originan cambios en el sistema eléctrico, que a su vez exigen mantener una buena confiabilidad y calidad de energía desde el generador hasta el usuario final [1]. Al aumentar los niveles de penetración de la GD en las redes de distribución, no se considera el diseño original de seguridad, control, flujo de potencia y puesta a tierra como un

sistema centralizado [2]. Por lo cual surgen problemas técnicos de calidad de la potencia.

Investigaciones que abarquen una mayor cantidad de estudios, pueden servir de guía complementaria a la normatividad con el fin de aportar en el diseño de la nueva infraestructura de redes, el planeamiento y la gestión de sistemas de potencia [3]. Para tal fin se utilizan diferentes software, entre los que se encuentra OpenDSS, el cual es una herramienta de código abierto desarrollada por la EPRI [1].

Por lo tanto, surge una pregunta ¿Cómo medir el impacto técnico de la integración de la generación distribuida sobre las redes de distribución, evaluando el flujo armónico, utilizando herramientas de código abierto?

Para evaluar el impacto de la generación distribuida sobre el perfil de tensión sobre redes de distribución, se tomó como caso de estudio el sistema de prueba IEEE 34 nodos.

El sistema IEEE de 34 nodos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), es un alimentador real situado en Arizona, con tensión nominal de 24.9 kV [4].

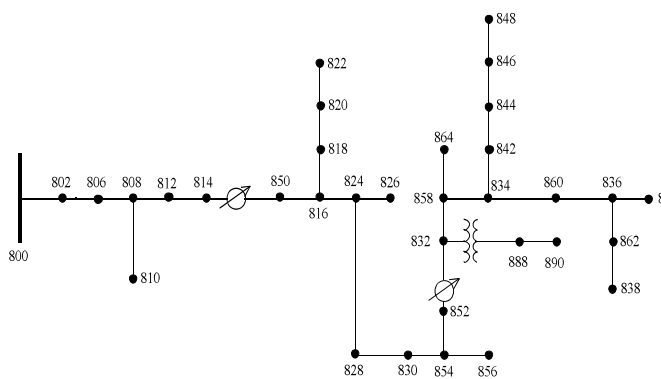


Figura 1. Sistema IEEE de 34 nodos
Fuente: [4]

El estudio de armónicos se efectúa utilizando las 4 ubicaciones estratégicas propuestas (nodos 890,

832, 836 y 848). Por otra parte, con el fin de acercar el modelo a los inversores utilizados por las nuevas tecnologías para acoplarse a la red, se utilizó un modelo de generador inversor (modelo=7 en OpenDSS) con un espectro armónico de inversor de seis pulsos.

Armónicos

Para evaluar la presencia de distorsiones armónicas en el sistema IEEE de 34 nodos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se hace necesario observar el comportamiento del THD en tensión y el TDD en corriente, para lo cual se utilizan los índices propuestos por los autores en las ecuaciones (1) y (2).

$$I_{THDV} = \frac{THDV_{nodo}}{THDV_{max}} \quad (1)$$

$$I_{TDD} = \frac{TDD_{n\ con\ GD}}{TDD_{n\ sin\ GD}} \quad (2)$$

El índice I_{THDV} (1) identifica por medio de un flujo armónico los nodos que no cumplen con los requerimientos de la normativa colombiana (NTC 5001 [5]); cabe recordar que esta norma está basada en el estándar IEEE 519 [6], en cuanto a distorsión armónica en tensión establece un límite para THD de máximo el 5%.

El índice I_{TDD} (2) identifica el impacto en el aumento de la distorsión total de la demanda (TDD), el TDD está en función de los niveles de corto y la corriente nominal de cada uno de los nodos, razón por la cual no se generaliza el comportamiento del mismo.

Para observar el comportamiento de los índices I_{THDV} y I_{TDD} se realizan diferentes flujos de carga armónicos, primero un flujo sin contemplar GD en

el sistema y luego un flujo para cada una de las diferentes ubicaciones de GD en el sistema (nodos 832, 836, 848 y 890).

En las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a 5 se muestra el comportamiento del índice I_{thdv} en cada una de las diferentes ubicaciones de GD, se observa que sin generación distribuida el índice no sobrepasa los límites (no supera 1), el impacto cuando se instala GD se evidencia en algunos nodos del sistema que superan el límite, además el aumento en el índice es en los nodos cerca a la instalación del generador, los nodos cerca al nodo infinito (nodo 800) no sobrepasan los límites debido a la robustez de los mismos; cuando se instala GD en el nodo 890 el índice I_{thdv} cumple con los límites mencionados razón por la cual se vuelve el más atractivo para instalar GD.

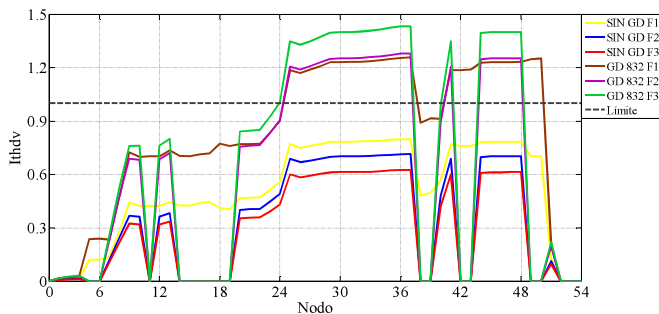


Figura 2. Comportamiento de I_{thdv} , GD en el nodo 832.
Fuente: Autores.

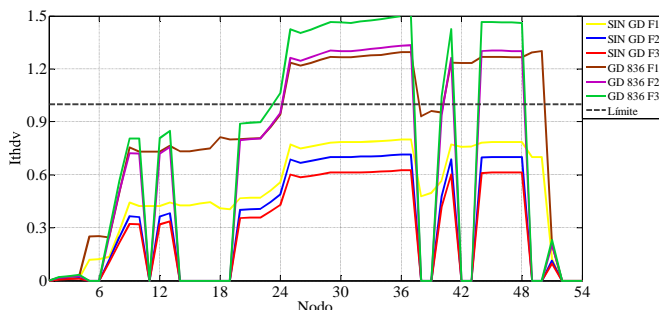


Figura 3. Comportamiento de I_{thdv} , GD en el nodo 836.
Fuente: Autores.

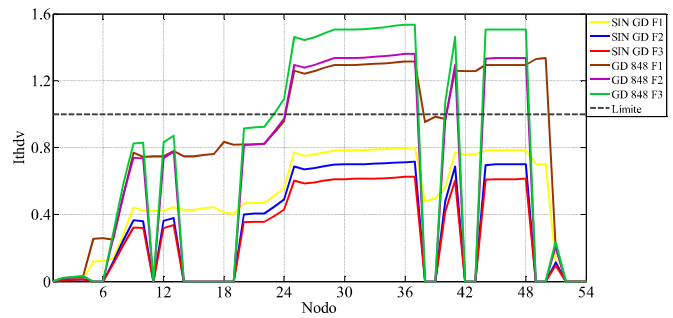


Figura 4. Comportamiento de I_{thdv} , GD en el nodo 848.
Fuente: Autores.

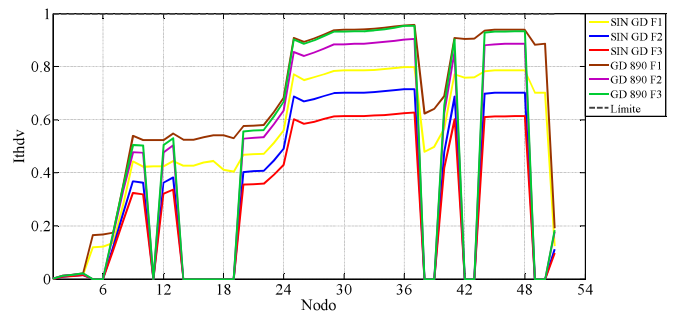


Figura 5. Comportamiento de I_{thdv} , GD en el nodo 890.
Fuente: Autores.

A diferencia que en el a distorsión armónica en tensión, la distorsión armónica total de la demanda de corriente tiene un impacto notorio, los índices en cada uno de los nodos tienen incrementos de hasta 10 veces por encima del índice cuando no se tiene GD, lo anterior teniendo en cuenta que la fuente generadora de corrientes armónicas es un variador de 6 pulsos considerado como uno de los elementos con mayores impactos debido a la electrónica de potencia que utiliza[7]. En las figuras 6 al 9 se presentan los resultados del índice I_{taa} en todos los nodos cuando se instala GD en los diferentes nodos del sistema.

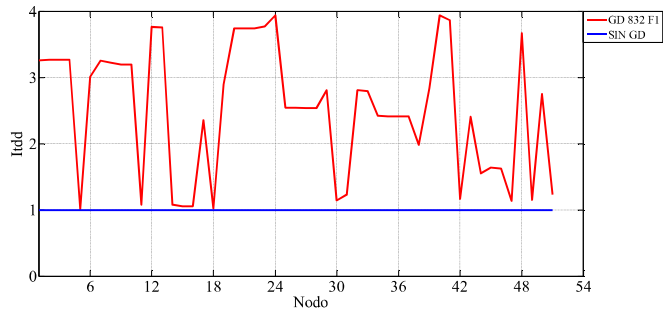


Figura 6. Comportamiento Itdd, GD en el nodo 832.
Fuente: Autores.

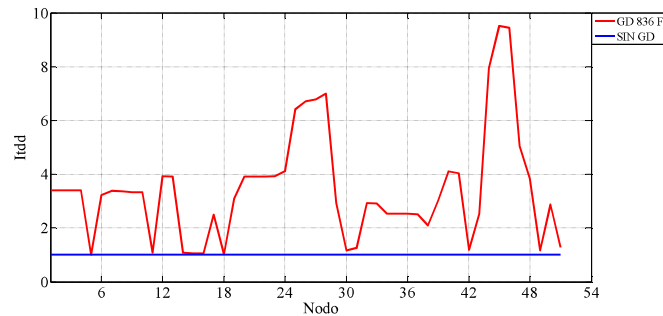


Figura 7. Comportamiento Itdd, GD en el nodo 836.
Fuente: Autores.

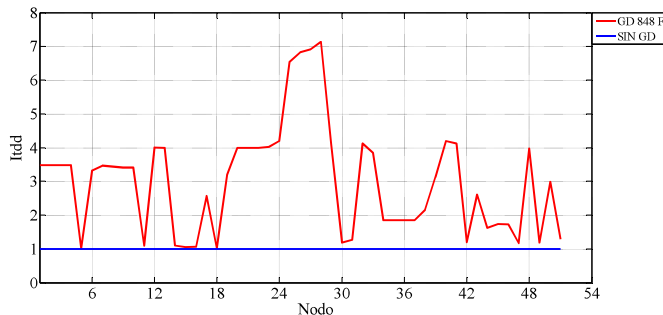


Figura 8. Comportamiento Itdd, GD en el nodo 848.
Fuente: Autores.

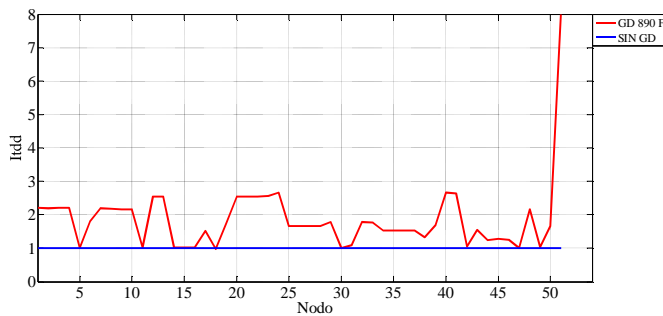


Figura 9. Comportamiento Itdd, GD en el nodo 890.
Fuente: Autores.

Los menores incrementos en el TDD de cada uno de los nodos se obtienen cuando se instala GD en el nodo 890, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se realiza un análisis más exhaustivo referente a la evaluación de los límites de TDD en cada uno de los nodos del sistema, en primera instancia se muestran el número de nodos que están por fuera de la norma sin instalar GD, seguido se muestran los nodos adicionales que no cumplen la norma cuando se instala generación distribuida.

Tabla 1. Nodos adicionales que no cumplen con la normativa colombiana para TDD: Fuente los autores.

Escenario	# Nodos fuera de norma	Nodos adicionales
SIN GD	15	NA (*)
GD en 832	21	(*), 800, 802, 806, 808, 836, 890
GD en 836	22	(*), 800, 802, 806, 808, 836, 860, 890
GD en 848	22	(*), 800, 802, 806, 808, 836, 848, 890
GD en 890	19	(*), 806, 808, 836, 890

Como se enseña en la tabla al colocar GD en el sistema aparecen nuevos nodos que no cumplen el límite, el menor número de nodos impactados cuando se instala GD se presenta cuando se coloca generación distribuida en el nodo 890.

A lo largo de esta sección de armónicos se observa lo perjudicial que es la generación distribuida para los sistemas de distribución, el análisis muestra que la GD en el nodo 890 genera menor impacto que en otras ubicaciones, lo anterior se debe a la conexión del transformador la cual por estar sólidamente aterrizado tiene un impacto positivo, debido a que las componentes armónicas múltiples

de 3 son absorbidas por esa conexión estrella aterrizada que posee [8] y [9].

Conclusiones

La generación distribuida es perjudicial para el flujo armónico del sistema de distribución, sin embargo, al conectar GD en baja tensión la distorsión total de la demanda tiene menores incrementos, lo anterior se justifica con la conexión del transformador la cual, por estar en conexión estrella sólidamente aterrizada, absorbe las componentes armónicas múltiplos de tres.

Para el índice I_{THDV} se observa que la GD instalada en baja tensión, cumple con los límites establecidos, a causa de la relación directa entre la distorsión armónica en corriente y tensión. La instalación de GD en los nodos afectados por armónicos fuera del límite, deberá ser acompañada con la instalación de filtros adecuados que permitan minimizar el impacto.

Es poco viable generalizar en un índice normalizado para distorsión total de la demanda (TDD) ya que en el sistema IEEE 34 nodos en cada nodo se cuenta con un límite distinto, esto se debe a que el TDD depende de la corriente de corto circuito y la corriente de demanda.

Para el caso de estudio la magnitud del índice I_{TDD} siempre estuvo por encima de uno, lo que muestra que la generación distribuida es perjudicial para el flujo armónico del sistema de prueba, más sin embargo, al conectar GD en baja tensión el impacto es menor debido a que la conexión del transformador estrella sólidamente aterrizada, absorbe las componentes armónicas múltiplos de tres.

Referencias

[1] J. E. S. de Haan, P. H. Nguyen, W.L. Kling, and P.F. Ribiero, "Social interaction interface for performance analysis of smart grids," in *2011 IEEE First International Workshop on Smart Grid*

Modeling and Simulation (SGMS), 2011, pp. 79–83.

[2] R. Passey, T. Spooner, I. MacGill, M. Watt, and K. Syngellakis, "The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and non-technical factors," *Energy Policy*, vol. 39, no. 10, pp. 6280–6290, Oct. 2011.

[3] R. Viral and D. K. Khatod, "Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 7, pp. 5146–5165, Sep. 2012.

[4] W. H. Kersting, "Radial distribution test feeders," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 975–985, 1991.

[5] ICONTEC, NTC 5001 Calidad de la Potencia Eléctrica. Límites y Metodología de evaluación en punto de conexión común. Colombia, 2008.

[6] IEEE, IEEE 519 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems IEEE Recommended Practices and. 1992.

[7] X. Zhou, J. Liang, and W. Zhou, "Harmonic impacts of inverter-based distributed generations in low voltage distribution network," *2012 3rd IEEE Int. Symp. Power Electron. Distrib. Gener. Syst.*, pp. 615–620, Jun. 2012.

[8] L. Guangye and Y. Yihan, "Three-phase-to-four-phase transformer for four-phase power-transmission systems," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 17, no. 4, pp. 1018–1022, 2002.

[9] G. Faccioli, "Triple harmonics in transformers," *Am. Inst. Electr. Eng. J.*, 1922.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Diego González Herrera: Ingeniero Eléctrico, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Integrante del Grupo de Compatibilidad e Interferencia Electromagnética. dilgonzalez@correo.udistrital.edu.co

Edwin Rivas Trujillo: Ingeniero Electricista, Magister en Sistemas de Generación Energía Eléctrica, Master y Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática. Profesor titular y Director del Grupo de Compatibilidad e Interferencia Electromagnética de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. edwinrivast@gmail.com, erivas@udistrital.edu.co

Nelson Enrique Vera Parra: Ingeniero Electrónico, Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Candidato a Doctor en Ingeniería. Coordinador del grupo de trabajo en Computación de Alto Desempeño y Bioinformática del Grupo Internacional de Investigación en Informática, Comunicaciones y Gestión del Conocimiento - GICOGE de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. nelsonenriquevera@gmail.com neverap@udistrital.edu.co