

Recibido 24 de agosto de 2023. Aceptado 19 de abril de 2024. Publicado 31 de mayo de 2024.

ISSN: 2448-7775

Implementación de una Fuente de Voltaje para la Validación de Relés de Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia

CHRISTOPHER JUAN PABLO ORTEGA WITRAGO¹, JUAN MANUEL CANO GALLARDO¹, BRYANT SILVA NEGRETE¹, MARIO ALBERTO ARRIETA PATERNINA², LUIS RAMON MERCHAN VILLALBA^{1*}.

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Guanajuato, Salamanca, Guanajuato, México.

² Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

*Autor de Correspondencia: lr.merchan@ugto.mx

RESUMEN En este trabajo se presenta la implementación de una fuente de voltaje para la validación de relés de protección de sistemas eléctricos de potencia, considerando condiciones adversas asociadas a los niveles de voltaje. Se considera el uso de un inversor basado en transistores tipo GaN operado con el microcontrolador TMS320F280049C, el cual es programado mediante el uso de Simulink. La validación de la propuesta considera la medición de las señales generadas mediante un medidor de calidad de la energía, además de activar las protecciones de sobre voltaje, bajo voltaje y presencia de secuencia negativa en el relé SEL 351s.

PALABRAS CLAVE— Inversor, protecciones, fuente de voltaje, transistor tipo GaN.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de protección en las redes eléctricas de potencia permiten la operación de forma segura, fiable y robusta. Dentro de estos sistemas se tienen los relés de protección, que desarrollan labores de detección y actuación sobre condiciones no adecuadas en la operación de los sistemas eléctricos de potencia [1], [2].

Para la validación de la operación correcta de los relés de protección se tienen diversas opciones. Un conjunto de soluciones corresponde a equipamiento comercial que brinda señales eléctricas de corriente y voltaje que emulan el comportamiento de un sistema eléctrico de potencia [3], [4], [5], [6]. Estas son herramientas bien desarrolladas a nivel profesional y que se utilizan comúnmente en la industria, teniendo interfaces gráficas amigables con los usuarios para la configuración de los equipos. Por otra parte, se tiene que son equipos costosos, y con flexibilidad limitada.

Por este motivo, se han desarrollado otras opciones que permitan una mayor flexibilidad en su operación y/o menores costos. Algunas propuestas consideran el uso de sistemas de simulación en tiempo real (RTS *Real-Time Simulation*) en conjunto con amplificadores de potencia, lo cual permite representar el comportamiento de un sistema eléctrico mediante la salida de señales eléctricas [7], [8],

[9], [10]. Aunque éstas permiten una gran flexibilidad para generar posibles situaciones en un sistema eléctrico resulta en una solución costosa debido a la necesidad de sistemas RTS, además de requerir amplificadores de potencia los cuales permiten representar las señales de entornos digitales en señales reales de corriente y voltajes [11], [12].

Debido a la relevancia de las señales de corriente en las protecciones eléctricas, se han desarrollado algunas propuestas basadas en amplificadores de corriente, lo cuales generan las señales indicadas por un elemento externo que deberían activar la operación de un relé de protección. En [13] presentan un amplificador lineal que opera con un amplificador operacional de potencia, lo cual incurre en altas pérdidas. En [14] proponen un amplificador basado en un convertidor tipo puente H operando a 5000 Hz. Aunque esta opción es más eficiente presenta un alto nivel de ruido. En [15] se tiene un amplificador de corriente que involucra electrónica de potencia y amplificadores de potencia para obtener un nivel adecuado de ruido al mismo tiempo que mejorar la eficiencia, resultando en un sistema complejo. Se puede identificar en la literatura que las señales que más interesan para la validación de los sistemas de protección son las de corriente [16], [17], aunque también las señales de voltaje son importantes. En [18] se evalúan un amplificador de voltaje basado en un convertidor de 9 niveles para la validación de protecciones de voltaje. Esta propuesta opera con una baja frecuencia de conmutación resultado en un voltaje de salida distorsionado.

En este trabajo se presenta la implementación de una fuente de voltaje para la validación de protecciones de sobre voltaje, bajo voltaje y nivel de secuencia negativa en un relé de protección, las cuales son relevantes para diversas aplicaciones, especialmente para detectar condiciones adversas en un sistema eléctrico de potencia y realizar acciones adecuadas como tiro de carga, encender generadores de respaldo, entre otras. La propuesta considera la generación de las señales a nivel digital a la vez que estas se amplifican para poder ser entregadas a las entradas de un relé de protección en forma de señales de voltaje en alterna. La amplificación de las señales de voltaje se lleva a cabo mediante un sistema de electrónica de potencia compuesto por tres inversores del tipo medio puente, considerando transistores del tipo GaN (GaN Gallium Nitride) para poder operar con elevadas frecuencias de conmutación y brindar así una mejor calidad en las señales de baja frecuencia. Esto se puede lograr con una etapa de filtrado, cuyos componentes pasivos pueden ser de valores pequeños.

II. FUENTE DE VOLTAJE

El esquema de la fuente de voltaje trifásica se presenta en la Fig. 1, teniendo los siguientes elementos: fuente de DC, inversor, filtro, transformador y sistema de control. Estos componentes se describen a continuación.

A. EL INVERSOR

El inversor trifásico de la propuesta consiste en la unión de tres inversores de medio puente (HB *Half Bridge*) tal como lo muestra la Fig. 2. De este modo, cada una de las salidas del inversor trifásico (v_a , v_b y v_c) opera como un elemento monofásico, entregando a la salida dos niveles de voltaje ($\pm V_{dc}$) referenciados al punto común de las fuentes de DC. Éstas corresponden a dos fuentes de 50 Vdc conectadas en serie. Para la implementación del inversor se considera el módulo TDHB-65H070L-DC [1], que corresponde a un arreglo de dos transistores tipo GaN para forma un HB (Ver Fig. 3). El inversor trifásico se conforma por tres de estos módulos.

La operación del inversor trifásico contempla la técnica de modulación PWM para generar los disparos de los transistores, donde cada inversor HB es controlador para generar su respectivo voltaje de salida. Las señales involucradas en la modulación PWM se presentan en Fig. 4, donde la Fig. 4a muestra la señal portadora y la moduladora. Para este trabajo se considera una moduladora de 50 kHz, siendo esta la frecuencia de conmutación de los transistores. Fig. 4b y Fig. 4c presentan los pulsos de activación para los transistores del inversor HB, siendo el voltaje de salida la señal v_o en Fig. 4d. En esta última Figura la señal v_o representa la componente de baja frecuencia que se encuentra en la señal conmutada.



Fig. 1. Esquema del inversor trifásico.

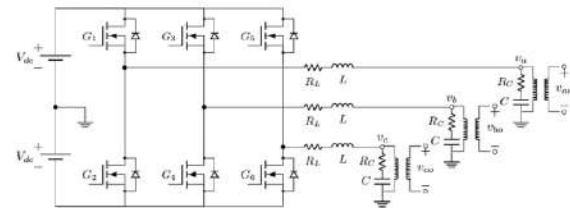


Fig. 2. Inversor trifásico.

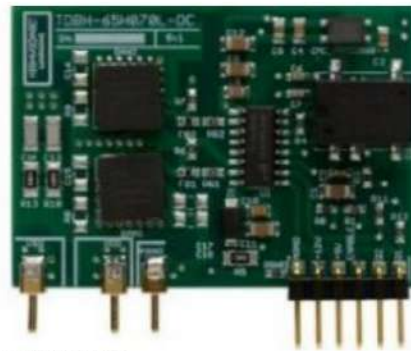


Fig. 3. Módulo TDHB [19].

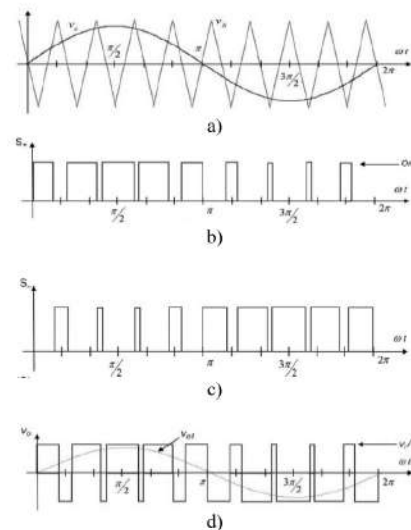


Fig. 4. Técnica de modulación PWM [20].

B. ETAPA DE FILTRADO

Con el objetivo de eliminar las componentes de alta frecuencia en la señal de voltaje entregada por el inversor se hace uso de una etapa de filtrado, la cual corresponde a la topología LC, la cual está conformada idealmente por un arreglo de un inductor y un capacitor, donde el voltaje de salida es el voltaje en el capacitor. Este arreglo deja pasar las componentes por debajo de la frecuencia de resonancia, y mitiga las que se encuentra por encima de ella conforme las componentes frecuenciales aumentan. La frecuencia de resonancia corresponde al valor $\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Aunque idealmente la topología del filtro LC considera solo un inductor y capacitor, se tiene que a nivel práctico estos componentes pasivos poseen resistencias parasitas que afectan el comportamiento ideal, teniendo así que la topología real de un filtro LC sería la presentada en la Fig. 5a. Evaluando algunos capacitores e inductores de los cuales se disponen físicamente se consideraron los valores de inductor de $R_L = 0.9 \Omega$; $L = 0.56mH$; y de capacitor de $R_C = 0.8 \Omega$; $C = 4\mu F$. Para estos elementos se obtuvo la respuesta en frecuencia del filtro mediante el uso de la herramienta *Model Linearizer* de Simulink [3], obteniendo así los resultados de la Figura 5b, donde se puede observar que para la frecuencia de conmutación correspondiente a 50 kHz la atenuación es de -43.8 dB.

III. CONTROL DEL INVERSOR

La operación del inversor involucra el uso del microcontrolador TMS320F280049C de la empresa Texas Instruments [21]. El dispositivo incorpora un periférico para la generación de las señales PWM directamente en hardware, siendo necesario configurar los módulos PWM una única vez y seguido a eso se actualiza el valor de comparación asociado al ciclo de trabajo. La programación del microcontrolador se puede realizar mediante Simulink haciendo uso del paquete de software llamado "Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors" [22]. Así, los algoritmos de control pueden fácilmente programados en el microcontrolador sin necesidad de hacer uso de software de bajo nivel.

Los algoritmos de control del microcontrolador se presentan en Fig. 6, donde se tiene la generación de las señales deseadas (área violeta) junto con los módulos PWM (área azul). La configuración de estos módulos se presenta en la Fig. 7. En la Fig. 7a establece la forma de la portadora, que será de 50 kHz siendo $C_{pwm}=2000$ a una frecuencia de operación del microcontrolador de 100 MHz, y una señal triangular mediante Counting mode=Up-Down. Las salidas a y b del PWM se establecen en las Fig. 7b y Fig. 7c, donde para la salida a se tiene que cuando la portadora sea mayor a la moduladora se activara dicha salida, y cuando la

portadora sea menor a la moduladora se activada la salida b. El tiempo muerto se configura en Fig. 7d, donde se habilita dicha función y se establece un valor 500 ns haciendo DB=50. De este modo, Simulink es utilizado para programar el microcontrolador, y una vez programado el dispositivo puede operar sin estar conectado a Simulink a una computadora.

IV. RESULTADOS

Una vez se tiene el sistema implementado se procede a la realización de las pruebas, las cuales consideran la evaluación de la calidad de las señales generadas seguido a la prueba del relé de protección SEL 351s [23]. La Fig. 8 presenta la implementación física del generador de voltaje, y la Fig. 9 presenta la fuente junto con el sistema de pruebas.

Inicialmente, se obtienen mediciones de las señales de voltaje mediante el equipo HIOKI PQ3198 [24], mediante el cual se obtendrán valores cuantitativos de la calidad de las señales. Fig. 10 presenta la medición de las señales trifásicas de voltaje generadas. Fig. 11 muestra el espectro armónico, teniendo las señales una distorsión armónica menor al 0.27%.

En la Fig. 12 muestra el desbalance de las mediciones, siendo este del 0.24%. De esta forma, se considera que las señales de voltaje generadas presentan una calidad adecuada para la validación de protecciones de voltaje.

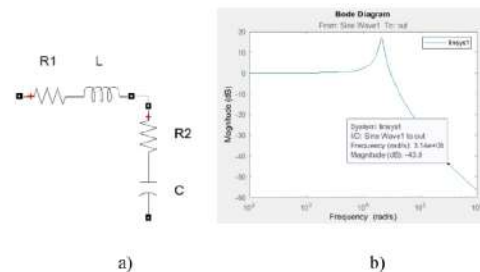


Fig. 5. Filtro LC a) topología y b) respuesta en frecuencia.

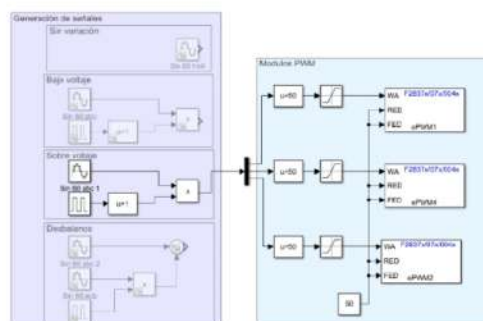


Fig. 6. Implementación de control del inversor en Simulink.

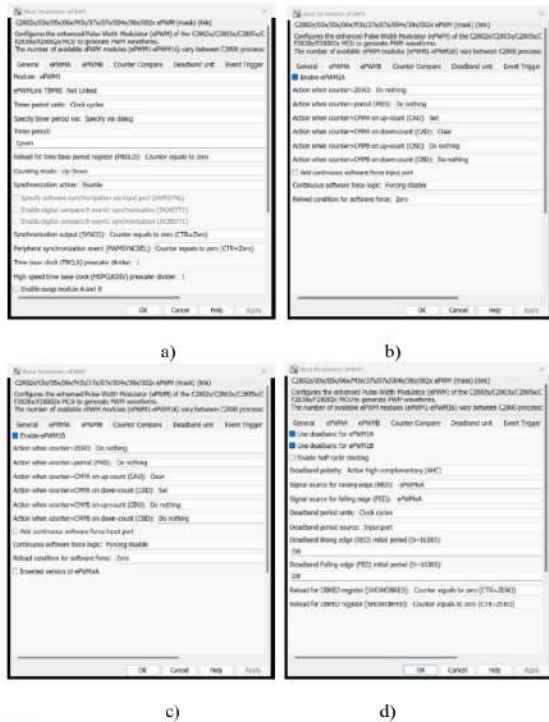


Fig. 6. Configuración módulo PWM a) portadora, b) salida a, c) salida b y d) tiempo muerto.

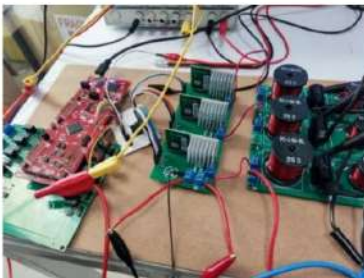


Fig. 7. Implementación de la fuente de voltaje.

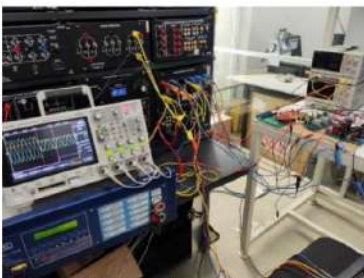


Fig. 8. Implementación del sistema de prueba.

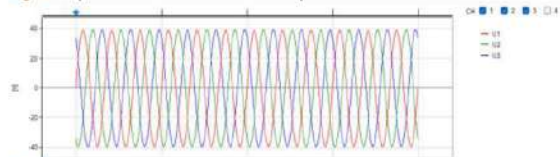


Fig. 9. Señales obtenidas HIOKI PQ3198.

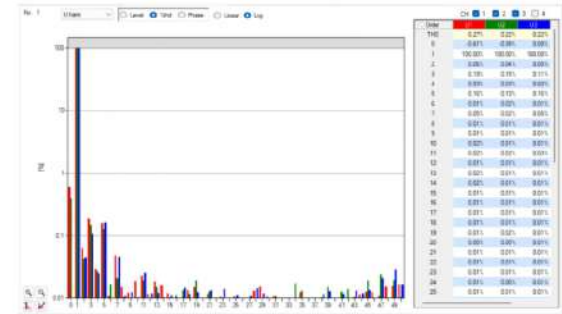


Fig. 10. Espectro armónico mediciones HIOKI PQ3198.

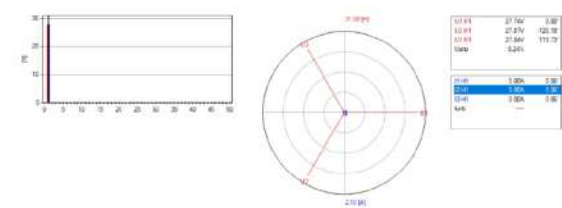


Fig. 11. Representación fasorial mediciones HIOKI PQ3198.

Adicionalmente, se genera una señal desbalanceada con el objetivo de verificar las señales. Las mediciones del HIOKI se presentan en la Fig. 13. El espectro armónico para el caso desbalanceado de muestra en Fig. 14, teniendo en este caso un desbalance menor al 0,37%. Fig. 15 muestra el diagrama fasorial de este caso, donde se puede observar el desbalance en los ángulos y las magnitudes de las señales.

Finalmente, se procede a la validación de las protecciones de bajo voltaje (27), sobre voltaje (59) y sobre voltaje de la componente de secuencia negativa (59Q). La Fig. 16 presenta la configuración relé realizada mediante el software acSELerator QuickSet [25], donde se puede observar que el valor de pickup para el bajo voltaje, sobrevoltaje y secuencia negativa son de 20v, 45v y 10v respectivamente (Ver Fig. 16a). Además, se configuran 3 salidas digitales para cada una de las condiciones de falla (Ver Fig. 16b).

En Fig. 17a, Fig. 17b y Fig. 17c se pueden observar las señales de voltaje y disparo del relé para las condiciones de bajo voltaje, sobre voltaje y sobrevoltaje de secuencia negativa, respectivamente. Se tiene la generación adecuada de los niveles que deberían activar las salidas, además del propio disparo del relevador.

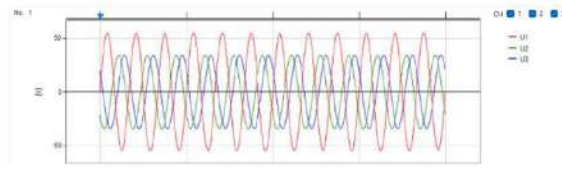


Fig. 12. Señales desbalanceadas obtenidas HIOKI PQ3198.

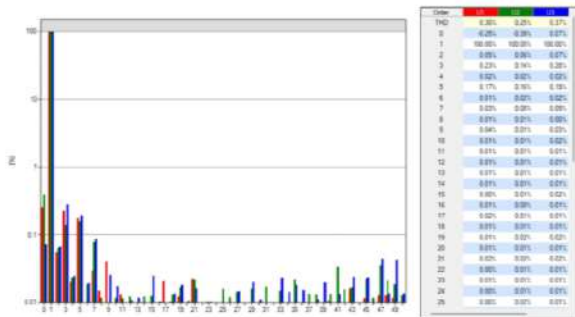


Fig. 13. Espectro armónico mediciones desbalanceadas HIOKI PQ3198.

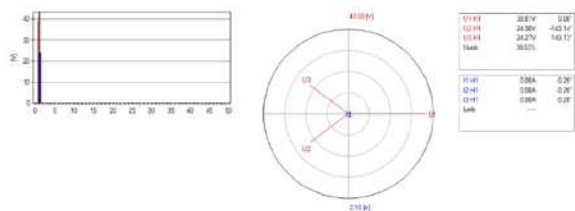


Fig. 14. Representación fasorial mediciones desbalanceadas HIOKI PQ3198.

Voltage Elements

EVOLT Enable Voltage Elements
EVOLT Enable Voltage Element Enables
Y Select: Y, N

Phase Undervoltage Elements
27P-1P Phase Undervoltage Pickup (Volts secondary)
20.00 Range = 0.00 to 300.00, OFF
27P-2P Phase Undervoltage Pickup (Volts secondary)
OFF Range = 0.00 to 300.00, OFF

Phase Overvoltage Elements
59P-1P Phase Overvoltage Pickup (Volts secondary)
45.00 Range = 0.00 to 300.00, OFF
59P-2P Phase Overvoltage Pickup (Volts secondary)
OFF Range = 0.00 to 300.00, OFF

Sequence Overvoltage Elements
59N-1P Zero-Seq(3V0) Overvoltage Pickup (Volts secondary)
OFF Range = 0.00 to 300.00, OFF
59N-2P Zero-Seq(3V0) Overvoltage Pickup (Volts secondary)
OFF Range = 0.00 to 300.00, OFF
59Q- Neg-Seq(V2) Overvoltage Pickup (Volts secondary)
10.00 Range = 0.00 to 200.00, OFF
59Q-3P Neg-Seq(V2) Overvoltage Pickup (Volts secondary)
OFF Range = 0.00 to 120.00, OFF

a)

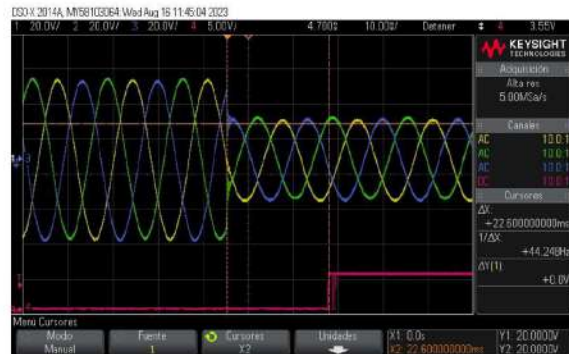
Output Contacts

Output Contact Equations

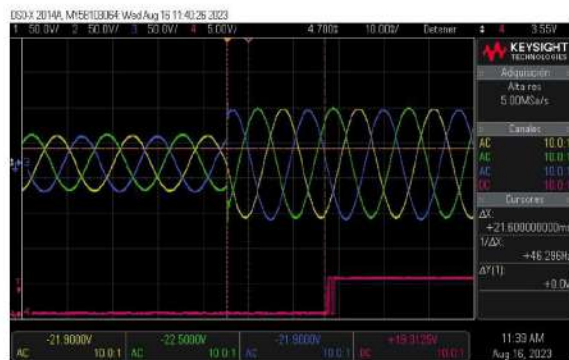
OUT101 Output Contact 101 3P17	OUT102 Output Contact 102 3P19
OUT103 Output Contact 103 59Q	OUT104 Output Contact 104 0
OUT105 Output Contact 105 0	OUT106 Output Contact 106 0
OUT107 Output Contact 107 0	

b)

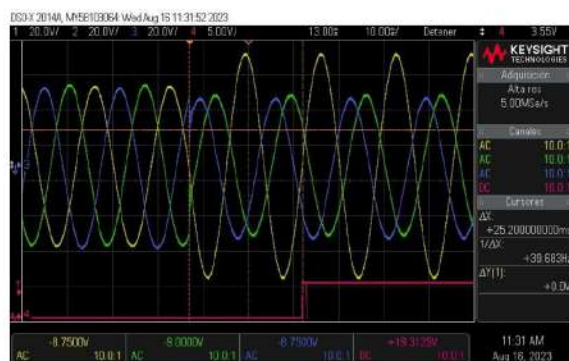
Fig. 16. Configuración relé SEL-351s a) valores pickup y b) salidas.



a)



b)



c)

Fig. 15. Señales de voltaje generadas y disparo del relé a) bajo voltaje, b) sobrevoltaje y c) sobrevoltaje de secuencia negativa.

En Fig. 18 se presentan los mismos resultados que se tienen en la Fig. 17, pero en este caso las señales son obtenidas directamente del relé mediante el uso del programa *synchroWAVE Event* [26]. De este modo se puede validar que la respuesta del sistema es la adecuada.

Adicionalmente, se configuró el relé para que brindará indicaciones visuales ante la presencia de las fallas. Fig. 19a, Fig. 19b y Fig. 19c presentan las condiciones de bajo voltaje, sobre voltaje y sobrevoltaje de secuencia negativa, respectivamente.

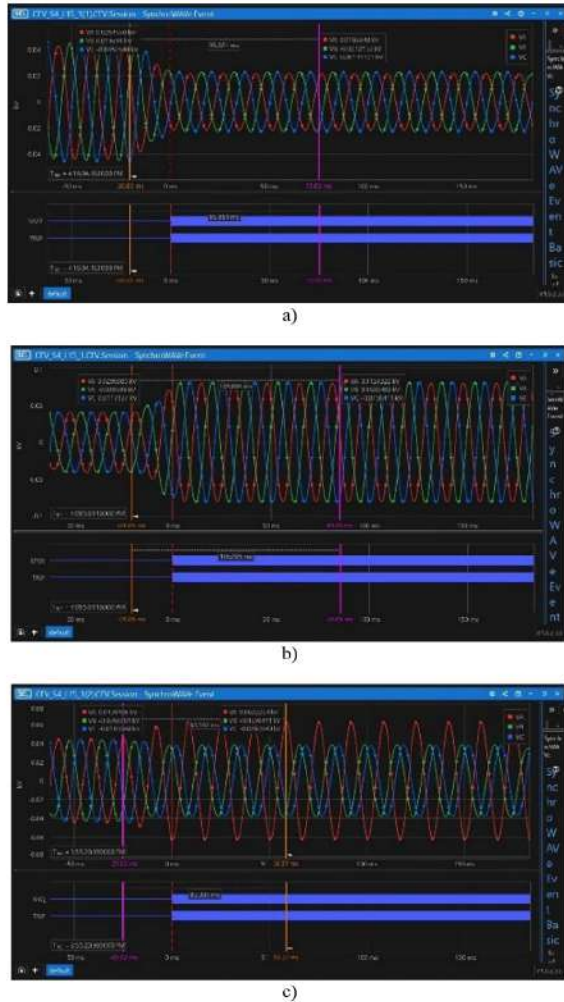
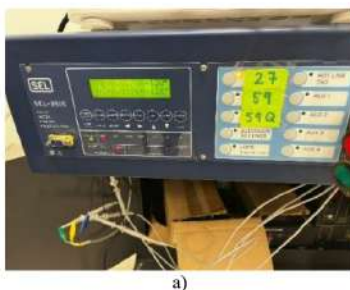


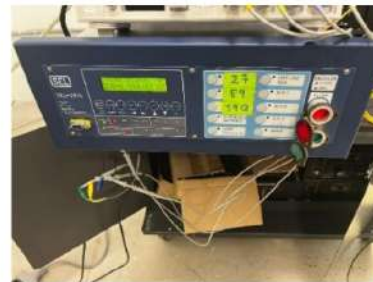
Fig. 16. Señales de voltaje y disparo obtenidas del propio relé a) bajo voltaje, b) sobrevoltaje y c) sobrevoltaje de secuencia negativa.



a)



b)



c)

Fig. 17. Salidas visuales en el relé para las condiciones de a) bajo voltaje, b) sobrevoltaje y c) sobrevoltaje de secuencia negativa.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la implementación de una fuente de voltaje para la validación de la operación de relés de protección de sistemas eléctricos de potencia ante condiciones asociadas al voltaje. La propuesta considera un sistema basado en electrónica de potencia haciendo uso de transistores de brecha amplia tipo GaN, lo cual permite la operación con elevadas frecuencias, mejorando así el espectro armónico de salida. El sistema permite generar voltajes de forma adecuada para la validación de condiciones como bajo voltaje y sobre voltaje, teniendo la posibilidad además de generar voltajes de secuencia negativa. La propuesta fue validada mediante la cuantificación de la calidad de la señal generada, además de la operación de condiciones de falla en el relé de potencia SEL-351s.

REFERENCIAS

- [1] A. G. Phadke, "Computer relaying: its impact on improved control and operation of power systems," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 1, no. 4, pp. 5–10, Oct. 1988, doi: 10.1109/67.20545.
- [2] D. Leschert, K. Sommerstad, E. Tremblay, and A. Bennett, "Microprocessor-Based Protective Relay Configurations: Effective Documentation In Industrial Applications," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 27, no. 4, pp. 25–35, Jul. 2021, doi: 10.1109/MIAS.2021.3063091.
- [3] OMICRON, "CMC 356 - Equipo universal de prueba de relés y herramienta de puesta en servicio - OMICRON." Accessed: Sep. 11, 2022. [Online]. Available: <https://www.omiconenergy.com/es/productos/cmc-356/#contact-menu-open>

- [4] Meger, "Megger Prueba de relés trifásicos." Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: <https://csa.megger.com/products/prueba-de-relés-de-proteccion/multi-phase-relay-testing>
- [5] doble, "F6150e Power System Simulator." Accessed: Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.doble.com/product/f6150e/>
- [6] Mors Smitt, "Portable relay tester PRT-MS1." Accessed: Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.morssmitt.com/products/400814/portable-relay-tester-prt-ms1>
- [7] E. Tremblay, A. Kachurowski, D. Leschert, and K. Busby, "Protective Relay Upgrade Utilizing Real-Time Simulator Technology: Application in an Industrial Facility," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 27, no. 4, pp. 57–68, Jul. 2021, doi: 10.1109/MIAS.2021.3063087.
- [8] J. Eloy-García, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "Grid simulator for power quality assessment of micro-grids," *IET Power Electronics*, vol. 6, no. 4, pp. 732–741, 2013, doi: 10.1049/iet-pel.2012.0541.
- [9] H. Kikusato et al., "Microgrid controller testing using power hardware-in-the-loop," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 8, Apr. 2020, doi: 10.3390/en13082044.
- [10] J. Montoya et al., "Advanced Laboratory Testing Methods Using Real-Time Simulation and Hardware-in-the-Loop Techniques: A Survey of Smart Grid International Research Facility Network Activities," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 12, p. 3267, Jun. 2020, doi: 10.3390/en13123267.
- [11] J. Bohler et al., "Ultra-High-Bandwidth Power Amplifiers: A Technology Overview and Future Prospects," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 54613–54633, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3172291.
- [12] Omar Alexander Chura Vilcanqui, Antonio Cezar de Castro Lima, and Luiz Alberto Luz de Almeida, "Design and Analysis of Amplifiers for Protective Relay Testing," *Przeład Elektrotechniczny*, 2014.
- [13] B. Liu, X. Fang, and Y. Chen, "The design and simulation analysis of current amplifier circuit of relay test," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 466–467, pp. 966–970, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.466-467.966.
- [14] K. S. Ling, A. M. Gole, P. G. McLaren, and R. Wachal, "A PWM current amplifier for testing protective relay," in *IEEE CCECE2002. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37373)*, IEEE, pp. 218–223, doi: 10.1109/CCECE.2002.1015204.
- [15] Z. Stanisic, "High efficiency, linear current amplifier for testing protective relays," in *2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, IEEE, May 2014, pp. 544–549, doi: 10.1109/ENERGYCON.2014.6850479.
- [16] M. Ferrari, E. C. Piescirovsky, T. Smith, and J. Hambrick, "Cost-Effective Three-Phase Current Amplifier Interface for Real-time Simulator with Relays in-the-Loop," in *2019 North American Power Symposium (NAPS)*, IEEE, Oct. 2019, pp. 1–5, doi: 10.1109/NAPS46351.2019.9000320.
- [17] I. Voloh, B. Kasztenny, and C. B. Campbell, "Testing line current differential relays using real-time digital simulators," in *2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. Developing New Perspectives (Cat. No.01CH37294)*, IEEE, pp. 516–521, doi: 10.1109/TDC.2001.971287.
- [18] A. Molina Moreno, F. Martínez Cardenas, and G. Gutiérrez Alcaraz, "Design of a Multilevel Class D Voltage Amplifier for Relay Testing," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 12, no. 4, pp. 543–549, Jun. 2014, doi: 10.1109/TLA.2014.6868853.
- [19] transphorm, "TDHB-65H070L-DC." Accessed: Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.transphormusa.com/en/evaluation-kit/tdhb-65h070l-dc/>
- [20] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*. Elsevier, 2018, doi: 10.1016/C2016-0-00847-1.
- [21] Texas Instruments, "TMS320F280049C ACTIVE C2000™ 32-bit MCU with 100-MHz, FPU, TMU, 256-kb Flash, CLA, InstaSPIN-FOC, CLB, PGAs, SDFM." Accessed: Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.ti.com/product/es-mx/TMS320F280049C>
- [22] Texas Instruments, "C2000 Microcontroller Blockset for Texas Instruments C2000 microcontrollers." Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/hardware-support/ti-c2000-cmbddcd-coder.html>
- [23] Schweitzer Engineering Laboratories SEL, "SEL-351S Sistema de protección." Accessed: Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <https://selinc.com/es/products/351s/>
- [24] HIOKI, "ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA PQ3198." Accessed: Jul. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.hioki.com/us-es/products/pqa/power-quality/id_6735
- [25] Schweitzer Engineering Laboratories SEL, "SEL-5030 Software acSELErator QuickSet." Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: <https://selinc.com/es/products/5030/>
- [26] Schweitzer Engineering Laboratories SEL, "Software synchroWAVE Event." Accessed: Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <https://selinc.com/es/products/5601-2/>

BIOGRAFÍAS



CHRISTOPHER JUAN PABLO ORTEGA WITRAGO Estudiante de la licenciatura de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Guanajuato en la División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca, miembro de la rama estudiantil del IEEE. Área de interés por la electrónica de potencia, sistemas eléctricos inteligentes y la Calidad de la Energía.



JUAN MANUEL CANO GALLARDO Recibió el título de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica en el año 2022 por parte de la Universidad de Guanajuato. Sus principales intereses son la electrónica de potencia, las energías renovables, las microrredes y el diseño de máquinas eléctricas.



BRYANT SILVA NEGRETE Estudiante de la licenciatura de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Guanajuato en la División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca. Sus áreas de interés involucran electrónica de potencia y sistemas de potencia.



MARIO ALBERTO ARRIETA PATERNINA Recibió el grado de Ingeniero Electricista y Maestro en Ingeniería-Automatización Industrial por la Universidad Nacional de Colombia, en los años 2007 y 2009, respectivamente. En el año 2017, él recibió el grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el área de Sistemas Eléctricos de Potencia del CINVESTAV, Guadalajara, México. En ese mismo año, el Dr. Arrieta Paternina se unió al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde actualmente es Profesor Titular del área de Protecciones y Máquinas Eléctricas. Sus áreas de investigación comprenden el desarrollo de metodologías formales para el análisis del desempeño dinámico de redes eléctricas; la implementación y desarrollo de sistemas WAMS basados en PMUs; así como el modelado, simulación, control, protección y digitalización de redes de transmisión y distribución.



LUIS RAMON MERCHAN VILLALBA Realizó sus estudios de pregrado en la Universidad Industrial de Santander en Bucaramanga, Colombia, obteniendo el título de Ingeniero Electrónico en 2013. En 2015 obtiene su título de Maestro en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Guanajuato, mismo lugar donde en el año 2020 obtiene su título de Doctor en Ingeniería Eléctrica. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Guanajuato. Sus intereses de investigación incluyen electrónica de potencia, sistemas eléctricos inteligentes, micro redes, dispositivos FACTS, entre otros.