

Recibido 27 Septiembre 2018, aceptado 4 Diciembre 2018, fecha de publicación 16 Diciembre 2018

ISSN 2448-7775

Protección diferencial de onda viajera en línea de transmisión

KARINA ESCOBAR¹, ERNESTO VÁZQUEZ¹, JUAN SEGUNDO RAMÍREZ²

¹Doctorado en Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

²Posgrado en Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Col. Zona Universitaria, SLP.

karina.escobarsan@uanl.edu.mx

juan.segundo@uaslp.mx

RESUMEN En este artículo se presenta un nuevo algoritmo de protección de velocidad ultra rápida para líneas de transmisión basado en ondas viajeras para detectar fallas internas y externas de manera rápida y selectiva. El principio de operación se basa en la distorsión que sufre el primer frente de onda originado por un cortocircuito. El algoritmo utiliza el segundo momento central para realzar patrones de comportamiento y de esta forma clasificar las fallas internas y externas a través de un umbral establecido de forma heurística. Se analizó el desempeño del algoritmo propuesto mediante casos de simulación considerando fallas más comunes y las más críticas de detectar, como es el caso de cortocircuitos cercanos a la ubicación de la protección, cortocircuitos en el extremo de la línea protegida y los que ocurren cerca del cruce por cero. Los diferentes escenarios se simularon en el programa de transitorios electromagnéticos PSCAD y en un simulador de tiempo real (RSCAD).

PALABRAS CLAVES Onda viajera, umbral.

I. INTRODUCCIÓN

Debido al incremento en la complejidad de los sistemas eléctricos de potencia, es de gran importancia la detección de fallas en líneas aéreas de transmisión que son vulnerables a diversas contingencias como descargas atmosféricas, contacto de conductores con árboles y/o estructuras, conductores caídos a tierra, u otro tipo de fallas. Cuando una falla de este tipo aparece en una línea es necesario desconectarla del resto del sistema, de no hacerlo implicaría un esfuerzo considerable sobre los elementos adyacentes como transformadores y generadores, provocando una reducción considerable en su vida útil, además, se pone en peligro la integridad del sistema debido a una eventual pérdida de sincronismo entre generadores.

Cualquier falla que aparezca en una línea de transmisión debe ser desconectada lo más rápido posible con el propósito de reducir los efectos provocados por el disturbio [1]. La necesidad de detectar la ubicación de la falla en la línea de transmisión de la manera más rápida y precisa posible ha sido cada vez más demandada. El uso de la tecnología de localización de fallas basadas en ondas viajeras se está implementando rápidamente a fin de mejorar la eficiencia para minimizar el tiempo de inactividad del sistema eléctrico. La ubicación de una falla en una línea aérea de transmisión utilizando ondas viajeras, utiliza las señales de alta frecuencia generadas en el punto de aparición de la falla; los primeros métodos de protección basados en ondas viajeras se propusieron a inicios de 1970, sin embargo, su

implementación práctica estaba limitada por la capacidad de los procesadores y el ancho de banda de los transductores de corriente y potencial. A través de los años se han propuesto una gran diversidad de métodos de ondas viajeras basados en la transformada de Wavelet, distancia de Manhattan, técnica de doble correlación, entre otros. En [2] se utiliza la técnica de correlación para medir el grado de la relación entre variables. En [3] se propone como detectar la falla mediante la comparación de las amplitudes máximas de la transformada Wavelet en diferentes escalas. La distancia de Manhattan [4] se utiliza para encontrar las combinaciones exactas de las mediciones de las ondas viajeras, mediante las cuales se calculan el tiempo en que ocurre la falla. La morfología matemática [5] se basa en las formas y el tamaño de las señales que está en función de la polaridad y el tiempo de llegada de las ondas viajeras iniciales. En el esquema de protección diferencial [6] comparan los tiempos, las polaridades y las magnitudes de las ondas viajeras actuales en ambas terminales de línea, se identifica el tiempo como un índice de muestra de la primera onda viajera en las terminales local y remoto.

En este artículo, se propone un nuevo algoritmo para la protección de ultra-alta-velocidad en líneas de transmisión en sistemas eléctricos de potencia utilizando el primer frente de onda generado en el punto de falla, lo que permite un menor tiempo de detección del disturbio. El algoritmo aplica el análisis del segundo momento central a las mediciones de voltaje y corriente de las ondas viajeras producidas por la falla, es capaz

de discriminar entre fallas internas en la línea protegida y fallas externas, independientemente de la topología del sistema.

II. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE ONDA VIAJERA

Cualquier falla que ocurre en una línea de transmisión, genera ondas viajeras de alta frecuencia. Esas ondas se propagan a través de la línea siendo continuamente atenuadas y distorsionadas. Al encontrar una discontinuidad, parte de la onda pasará a otras secciones del sistema y el resto será reflejada al punto de falla donde, debido a la impedancia, la falla se reflejará como una onda de voltaje de polaridad opuesta y una onda de corriente de igual polaridad a las ondas de voltaje y corriente incidentes respectivos [7]. El diagrama de Laticce, Fig. 1, ilustra los frentes de ondas generados en el punto de falla. Una fuente inductiva refleja ondas de voltaje del mismo signo y una onda de corriente de signo opuesto a la respectiva onda incidentes. Además, la dependencia en frecuencia de la fuente provoca un efecto exponencial en la señal reflejada.

La solución de D'Alembert de las ecuaciones de onda de voltaje, $v(x, t)$ y de corriente $i(x, t)$, en una línea de transmisión monofásica con parámetros distribuidos y sin pérdidas, está expresada como [8]:

$$\begin{aligned} v(x, t) &= F_1(x - ut) + F_2(x + ut) \\ i(x, t) &= [F_1(x - ut) + F_2(x + ut)]/Z_0 \end{aligned} \quad (1)$$

donde x es la posición a lo largo de la línea, t es el tiempo, u es la velocidad de propagación y Z_0 es la impedancia característica de la línea. Si L y C representan la inductancia serie y la capacitancia paralelo por unidad de longitud respectivamente, entonces:

$$u = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad ; \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

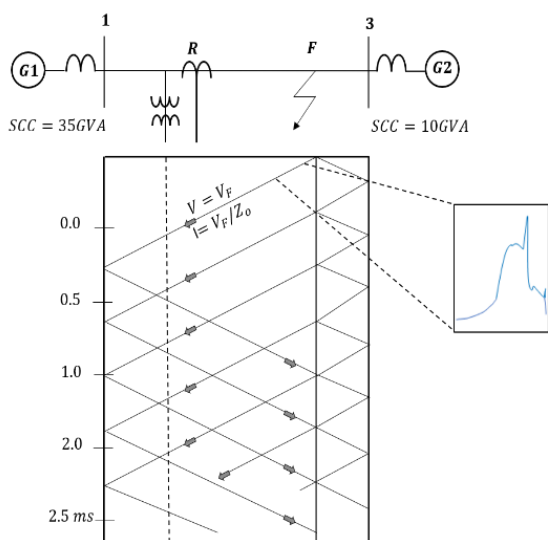


Fig. 1. Diagrama de Lattice de los frentes de onda generados por una falla.

Las funciones F_1 y F_2 dependen de las condiciones de frontera del caso que se esté analizando; F_1 representa una onda que se desplaza en la dirección positiva de x a una velocidad c (onda directa); F_2 es una onda que se desplaza en la dirección negativa de x a una velocidad c (onda inversa). La relación entre el voltaje y la corriente en F_1 es Z_0 y en F_2 es $-Z_0$, esta caracterización corresponde a una corriente positiva, representada como una carga positiva circulando en la dirección positiva de x . Si el voltaje y la corriente son medidos en una localización x , es posible identificar la onda directa F_1 e inversa F_2 tomando las señales denominadas S_1 y S_2 :

$$\begin{aligned} S_1 &= v(x, t) + Z_0 i(x, t) = 2F_1(x - ut) \\ S_2 &= v(x, t) - Z_0 i(x, t) = 2F_2(x + ut) \end{aligned} \quad (3)$$

Si la medición del voltaje y la corriente se realizan en la ubicación del relevador ($x = 0$), entonces las señales S_1 y S_2 son:

$$\begin{aligned} S_1 &= 2F_1(-ut) = v(0, t) + Z_0 i(0, t) \\ S_2 &= 2F_2(ut) = v(0, t) - Z_0 i(0, t) \end{aligned} \quad (4)$$

donde S_1 representa el cambio de señal en la ubicación del relevador debido a la onda directa y S_2 representa el cambio de señal en la ubicación del relevador debido a la onda inversa. El análisis anterior es válido para un sistema de potencia monofásico. En líneas de transmisión trifásicas los acoplamientos mutuos entre conductores dificultan el análisis del fenómeno de onda viajera en el dominio de fases, es necesario descomponer las señales de fase en sus correspondientes modos de propagación, obteniéndose 2 modos aéreos y uno de tierra. La transformación modal puede expresarse por:

$$\begin{aligned} \Delta v_m(t) &= S^{-1} \Delta v_f(t) \\ \Delta i_m(t) &= Q^{-1} \Delta i_f(t) \end{aligned} \quad (5)$$

donde $\Delta v_f(t)$ y $\Delta i_f(t)$ son los voltajes y corrientes incrementales de fase, $\Delta v_m(t)$ y $\Delta i_m(t)$ son sus correspondientes voltajes y corrientes modales, S y Q son las matrices de transformación. La descomposición modal permite analizar un sistema trifásico en función de tres modos de propagación.

III. EFECTO DE COEFICIENTES DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN EN LOS FRENTES DE ONDAS VIAJERAS

Las ondas viajeras que se generan ante la aparición de un disturbio en la línea de transmisión se propagan por las líneas hasta que llegan a una discontinuidad; en este punto las ondas se dividen en una onda reflejada y una onda transmitida (Fig. 2), donde la magnitud de cada una de las ondas está dada por los coeficientes de reflexión (k_R) y de refracción (k_T) los cuales son de la forma:

$$k_R = \frac{Z_b - Z_a}{Z_a + Z_b} \quad ; \quad k_T = \frac{2Z_b}{Z_a + Z_b} \quad (6)$$

Siendo Z_a y Z_b las impedancias características de cada una de las líneas, respectivamente.

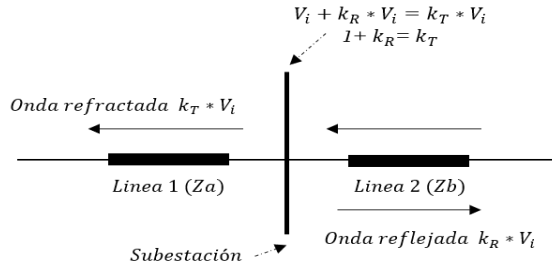


Fig. 2. Comportamiento de la onda viajera al alcanzar una discontinuidad en una red eléctrica.

Los frentes de ondas viajeras propagándose por una línea de transmisión experimentan una modificación en su contorno al atravesar una discontinuidad provocada por un cambio de impedancia. En el caso de que ambas líneas sean idénticas, el contorno de la onda viajera no se ve afectado, y no existe onda reflejada. Esta situación es difícil que se presente en sistemas eléctricos de potencia reales. Así mismo las ondas viajeras que se propagan a través de una línea de transmisión homogénea se ven mínimamente afectadas en su contorno aun considerando pérdidas por atenuación [9].

IV. SEGUNDO MOMENTO CENTRAL

Por su naturaleza transitoria, las ondas viajeras de voltaje y corriente en la línea de transmisión se pueden considerar como variables aleatorias, y es posible caracterizar su comportamiento mediante los momentos centrales (media, varianza, simetría y curtosis) [10].

El k -th momento central m_k de una variable aleatoria X es definido como:

$$m_k = E[(x - E[x])^k] \quad (7)$$

donde E es el valor esperado para una señal entre $[m, M]$, el momento central m se determina como:

$$m_k = \int_m^M (x - u)^k f(x) dx \quad (8)$$

Por lo tanto, el segundo momento central (SMC) para una señal se define como:

$$m_k = \int_0^T (x - u)^2 dx = E[(x - u)^2] \quad (9)$$

El objetivo de utilizar el SMC es para clasificar los agrupamientos formados por las clases de fallas internas y externas de la línea de transmisión a través de las mediciones de las ondas viajeras de voltaje y corriente.

V. ALGORITMO

Un frente de onda originado por una falla externa experimenta una modificación en su contorno al pasar por la discontinuidad que presenta el cambio de la impedancia característica entre líneas de transmisión, y un frente de onda originado por una falla interna solo es afectado por la atenuación propia de la línea. Se determina el segundo momento central de cada señal de onda viajera producida por

una falla, y si supera el umbral (definido de forma heurística), el evento se identifica como falla interna.

El algoritmo puede utilizar señales incrementales ΔS_1 en modo 1 o solo con la señal de corriente, para este caso puede ser las señales incrementales en modo 0 o modo 1, y de esta forma se omiten las señales de voltaje reduciendo los problemas de respuesta a la frecuencia de los TP [11].

A. PRE-PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES

Se realiza un pre-procesamiento de las señales de corriente y voltaje, el cual consiste en la aplicación de un filtro delta con el objetivo de remover el estado estable de la señal [12]. Las señales incrementales son usadas por las protecciones de alta velocidad ya que contienen la información de las ondas viajeras inyectadas por la falla; para obtener las señales incrementales, las señales de pre-falla de estado estable se restan a las señales de post-falla:

$$\begin{aligned} \Delta v(t) &= v(t) - v(t - nT) \\ \Delta i(t) &= i(t) - i(t - nT) \end{aligned} \quad (10)$$

donde n es el número de ciclos y T corresponde a un período de la señal a frecuencia fundamental (60 Hz), de esta forma es posible obtener las señales incrementales para la señal ΔS_1 en cada modo de propagación:

$$\Delta S_1^m = Z_0^m \cdot \Delta i^m - \Delta v^m \quad (11)$$

La longitud de la ventana de datos es de gran importancia para la implementación del algoritmo, si el número de datos es pequeño, el algoritmo no tendrá suficiente información para identificar correctamente la ubicación de la falla. La selección de la ventana se hizo en forma empírica siendo de 25 μs , de esta forma se logra una buena caracterización del frente de onda originado por el cortocircuito. Ventanas de datos sucesivas se forman con 25 muestras de la señal ΔS_1 con un intervalo de 1 μs entre muestras, lo que representa una frecuencia de 1 MHz.

Con el propósito de que el algoritmo funcione en cualquier sistema de potencia, independientemente de su configuración y voltaje de operación, se normalizan las señales ΔS_1 para que estén entre 0 y 1, con la finalidad de no modificar el contorno de los frentes de onda, estos se escalonan de la forma:

$$t_n = \begin{cases} \frac{\Delta S_1}{\max(\Delta S_1)} & \text{si } |\max(\Delta S_1)| > |\min(\Delta S_1)| \\ \frac{\Delta S_1}{\min(\Delta S_1)} & \text{si } |\max(\Delta S_1)| < |\min(\Delta S_1)| \end{cases} \quad (12)$$

Estos vectores corresponden a las versiones normalizadas de los frentes de onda usados como patrones de prueba, que se realiza a la ventana de 25 muestras del primer frente de onda. Los frentes de ondas son almacenados en una ventana de datos (25 μs) para calcular el SMC. El valor del segundo momento central se compara con un umbral, con el propósito de establecer si el frente de onda corresponde o no a una falla interna. Así, cuando tres instantes consecutivos cumplen la condición de falla interna se manda el disparo; cuando se trata de una falla externa o cuando no hay falla el contador se reinicializa.

B. UMBRALES

El algoritmo propuesto utiliza dos umbrales, el primero determina si la señal de onda viajera corresponde a una falla y el segundo identifica si la falla es externa o interna aplicando el SMC.

1. Umbral ε_f

El umbral ε_f se utiliza para la detección de fallas. En condición de estado estable las señales incrementales son prácticamente cero, cuando ocurre una falla la señal incremental ΔS_1 se manifiesta, indicando la aparición de un evento en la línea de transmisión, de tal forma que:

$$\begin{aligned} \Delta S_1 &= 0 \text{ Estado estable} \\ \Delta S_1 &> \varepsilon_f \text{ Cortocircuito} \end{aligned} \quad (13)$$

El valor de ε_f es de $0.1 pu$, tomando como base el voltaje de operación de la línea de transmisión. La Fig. 3 muestra una ventana de datos usada por el algoritmo, donde la línea horizontal corresponde al umbral ε_f .

2. Umbral ε_{smc}

Se estableció un umbral para la identificación de fallas internas y externas aplicando el SMC. Este umbral corresponde a un valor de 0.2 y fue determinado de forma heurística de las 200 pruebas realizadas, establece que para eventos donde la falla se encuentra dentro de la línea protegida la magnitud de la señal supera el umbral ε_{smc} , por el contrario, cuando una falla se encuentra fuera de la línea protegida, la señal no supera el valor del umbral.

Los valores de ε_{smc} varían dependiendo de las características de la frecuencia de muestreo o bien, dependiendo de la información de la señal de entrada, puede ser para ΔS_1 o la señal incremental de corriente, de esta forma, elimina el problema de ancho de banda de los TP, debido a que se omiten las mediciones de voltaje. El algoritmo se evaluó en tiempo real a través del RSCAD a una frecuencia de muestreo de 100 kHz con el propósito de relajar las restricciones de equipo para una implementación real, debido a que entre más alta es la frecuencia de muestreo mayor es el costo de los equipos.

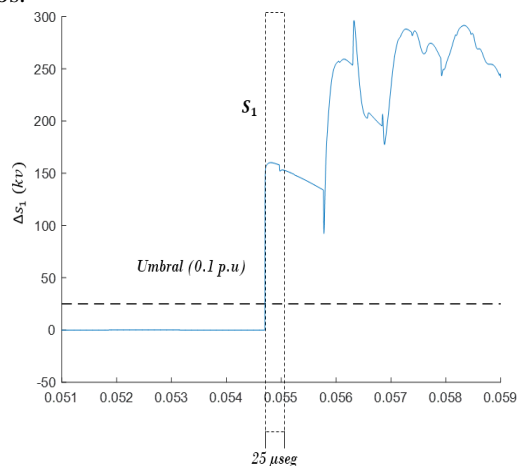


Fig. 3. Forma de onda de la señal ΔS_1 .

VI. SISTEMA DE PRUEBA

Las simulaciones se realizaron en un sistema de potencia de 230 kV, el sistema consta de dos generadores conectados por dos líneas de diferentes impedancias características (Fig. 4), cuyos parámetros se muestran en la Tabla I. Para las pruebas de desempeño no se requiere simular un sistema de mayor tamaño, ya que el algoritmo utiliza las primeras ondas incidentes producidas por un cortocircuito.

VII. RESULTADOS

Se realizaron 200 casos de simulaciones con el objetivo de demostrar el desempeño del algoritmo, los escenarios de simulación en PSCAD son fallas trifásicas (ABC) y monofásicas (A-G) con resistencias de falla de 0 y 50Ω , con diferentes ángulos de inserción de falla, utilizando una frecuencia de muestreo de 1 MHz, se analizó para distintos porcentajes de línea, tal como se muestra en la Tabla II.

Se evaluó el algoritmo en tiempo real, se realizaron 70 casos de simulación en RSCAD de fallas trifásicas (ABC) sólidas y monofásicas (A-G) con resistencia de falla de 0 y 50Ω , con ángulo de inserción de falla de 90° y simuladas en distintas ubicaciones en las líneas 1 y 2 (Tabla III). Para este caso la frecuencia de muestreo es de 100 kHz; el propósito es relajar la restricción de la frecuencia de muestreo para evaluar la implementación del algoritmo propuesto en las plataformas de hardware utilizadas en los relevadores de protección actuales. Los resultados de las simulaciones se muestran en las Tablas II y III.

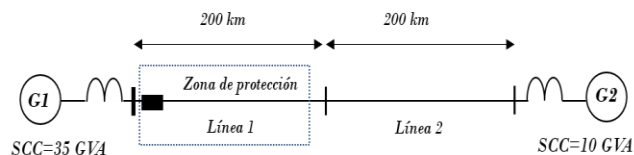


Fig. 4. Sistema de prueba.

TABLA I. INFORMACIÓN DE LAS LÍNEAS EN EL SISTEMA DE PRUEBA.

Línea	$Z_0(\Omega)$	Longitud (km)	Hilos por fase
1	394.65	200	1
2	318.75	200	2

TABLA II. ESCENARIOS EN PSCAD PARA EVALUAR EL ALGORITMO.

Tipo de falla	Ángulo de inserción de falla	Fallas en L1 (%)	Fallas en L2 (%)
A-G	$4^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ y 90°	1, 10, 20, 30, 50, 70 y 90	5, 10, 30, 50, 70 y 90
ABC	$4^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ y 90°	1, 10, 20, 30, 50, 70 y 90	5, 10, 30, 50, 70 y 90

TABLA III. ESCENARIOS EN RSCAD PARA EVALUAR EL ALGORITMO.

Tipo de falla	Fallas en L1 (%)	Fallas en L2 (%)
A-G	1, 10, 20, 30, 50, 70 y 90	5, 10, 30, 50, 70 y 90
ABC	1, 10, 20, 30, 50, 70 y 90	5, 10, 30, 50, 70 y 90

A. FALLAS CERCANAS AL NODO LOCAL

Una onda viajera generada por una falla cerca del nodo local puede ser difícil de detectarse, debido a que una falla cercana llegará rápidamente a la ubicación del relevador reflejándose continuamente entre el nodo y el punto de falla, estas reflexiones provocan distorsión en el frente de onda originada por la falla (falla kilométrica) [7]. En la Fig. 5 (a) se muestran los frentes de onda para una falla ABC y A-G sólida simulada al 1% de la línea 1, y en la Fig. 5 (b) se observa que las dos señales quedan por arriba del umbral (falla interna), demostrando que no existen problemas para identificar el evento.

B. FALLAS CERCANAS AL NODO REMOTO

Se evaluó el algoritmo con una falla A-G sólida con un ángulo de inserción de falla de 90° al 90% de la línea 1 y al 10% de la línea 2. Estas pruebas se realizan para verificar la sensibilidad del algoritmo, debido a que la falla en la línea 1 se encuentra cerca de la línea 2 por lo que los frentes de ondas de 25 muestras tienen un comportamiento similar (Fig. 6 (a)), sin embargo, se demuestra que es posible identificar el tipo de falla, como se muestra en la Fig. 6 (b).

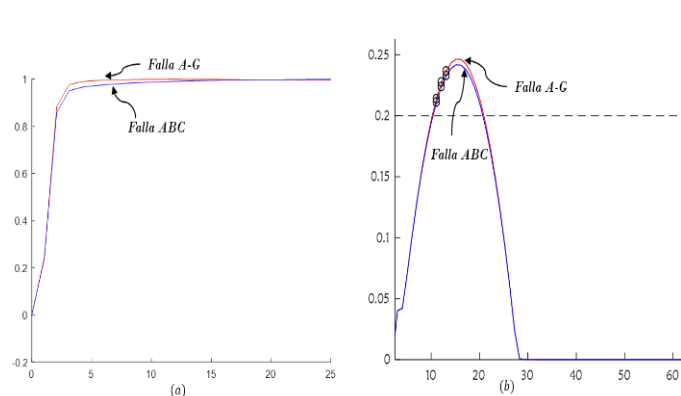


Fig. 5. Falla ABC y A-G sólida al 1% de L1. (a) Ventana de datos. (b) SMC.

C. COMPARACIÓN CON EL ALGORITMO DE LA COMPONENTE PRINCIPAL

Para evaluar la respuesta se realiza la comparación con el algoritmo de la componente principal (PCA); la comparación se muestra en la Fig. 7, que corresponde a una falla trifásica con resistencia de falla de 50 Ω y ángulo de inserción de falla de 30°, se observa que el algoritmo propuesto permite identificar las fallas internas y externas con fallas en L1 al 20, 30, 50 y 70 % y falla en L2 al 5, 30, 50, 70 y 90%.

D. PRUEBAS EN RSCAD

Las simulaciones realizadas en RSCAD corresponden a un paso de integración de 10 μs. Para este caso, el umbral ϵ_{smc} corresponde a un valor de 0.112, el cual fue obtenido de forma heurística a través de las 70 pruebas realizadas en tiempo real. En la Fig. 8 se muestran los casos de simulaciones monofásicas y en la Fig. 9 se muestran los casos de simulaciones trifásicas, considerando los escenarios descritos anteriormente con un ángulo de inserción de falla de 90°. En las figuras se puede observar que el SMC permite determinar correctamente entre fallas internas y externas.

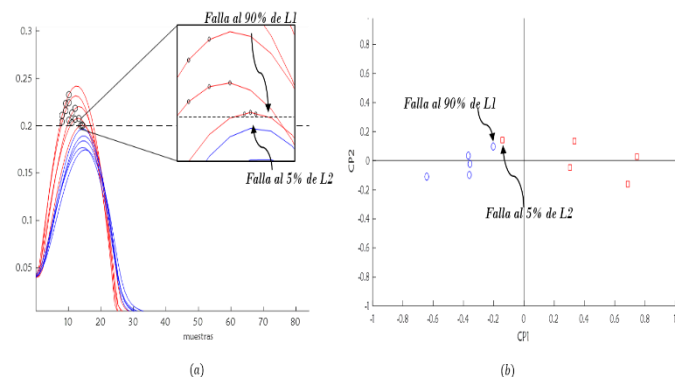


Fig. 7. Identificación de fallas ABC sólidas con ángulo de inserción de falla de 30°. (a) Algoritmo del SMC. (b) Algoritmo ACP.

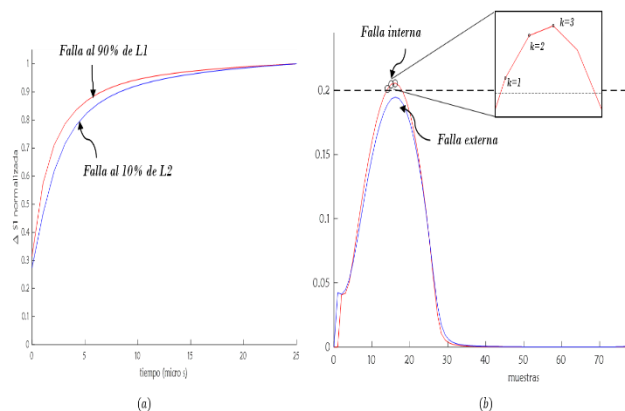


Fig. 6. Identificación de una falla A-G sólida con ángulo de inserción de falla de 90°. (a) Ventana de datos. (b) SMC.

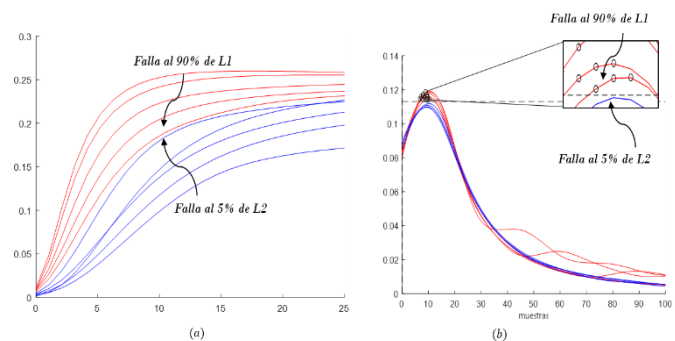


Fig. 8. Identificación de fallas monofásicas utilizando simulaciones en tiempo real. (a) Ventana de datos. (b) SMC.

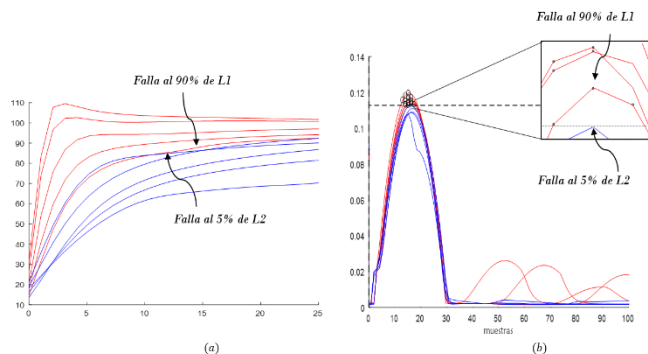


Fig. 9. Identificación de fallas trifásicas utilizando simulaciones en tiempo real. (a) Ventana de datos. (b) SMC.

VIII. CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas y los resultados obtenidos demuestran que es posible utilizar el primer frente de onda para discriminar si una falla se encuentra dentro o fuera de la línea protegida. El análisis incluyó un estudio de fallas críticas que pueden presentarse en las líneas de transmisión, como son las fallas que ocurren cerca del nodo local y el nodo remoto de la línea y las fallas que ocurren cerca del cruce por cero de la onda de voltaje. Los umbrales utilizados para la identificación de fallas se determinaron en forma heurística a partir de 200 casos de simulación, de esta forma se determinó el valor de 0.2 para las señales ΔS_1 . Se realizó un estudio para evaluar los umbrales de las señales de corrientes, obteniendo el valor de 0.1 para ΔI_0 y 0.126 para ΔI_1 . El umbral para las pruebas simuladas en tiempo real es de 0.112, este se determinó de forma heurística de acuerdo con los resultados de las 70 pruebas simuladas.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Juan Segundo Ramírez por su apoyo para las simulaciones realizadas en el equipo RTDS en la estancia en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

REFERENCIAS

- [1] D. N. Voropai, N. I. y Efimov, "Analysis of blackout development mechanisms in electric power systems," in *IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, May 2005. Jul. 2008, pp. 1-7.
- [2] P. A. Crossley and P. G. McLaren, "Distance protection bases on traveling waves," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 1, pp. 2971-2983, 1983.
- [3] D. X. y. Z. B. F. Su Qianli, "New approach of fault detection and fault phase selection based on initial current traveling waves," *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Chicago, IL, USA, 2002, pp. 393-397.
- [4] G. R. Liang, Wang Fei, "A general fault location method in complex power grid based on wire-area traveling wave data acquisition," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 1, pp. 213-218, 2016.
- [5] M. S. F. Namdari, "High-speed protection scheme based on initial current traveling wave for transmission lines employing mathematical morphology," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 32, pp. 246-253, 2017.
- [6] T.-d. L. Protection, "SEL-T400L," 2015.
- [7] J. Castruita y Ernesto Vázquez M. "Nuevo algoritmo de protección de distancia basado en el reconocimiento de patrones de onda viajera", UANL, p.124, 2004.

- [8] O. L. Chacón, Ernesto Vázquez y Héctor J. Altuve, "Protección de onda viajera de líneas de transmisión," Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL, no. 1, 1978.
- [9] Z. Q. Bo and Su Qianli. "New approach of fault detection and fault phase selection based on initial current traveling waves", Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084, China. 2002.
- [10] R. Sharma, A. Sharma, R. Saini, y G. Kapoor, "Means Moments and Newton's Inequalities" Available on arXiv:1702.04665 [math.ST].
- [11] C.i. Chien, Y.-c. Wang, K.-h. Chien, and H.-k. Chiou, "A Low Power, Wide Bandwidth K-band Transformer Feedback Low Noise Amplifier with Current Reused Topology," in *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2014*, pp. 417-419, 2014.
- [12] S. Richards, AP Apostolov y D Tholomier, "Superimposed components based sub-cycle protection of transmission lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, pp. 592-597, 2004.