

LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA USANDO LA TRANSFORMADA DE WAVELET

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN
ELÉCTRICA USANDO LA TRANSFORMADA DE WAVELET**

**AUTOR:
FRANKLIN GEOVANNY QUIHPE USHIÑA**

**TUTOR:
DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA**

Quito, Febrero 2017

FRANKLIN GEOVANNY QUISHPE USIÑA

**LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA
USANDO LA TRANSFORMADA DE WAVELET**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2017

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña de autores e información de contacto:



Franklin Geovanny Quishpe Ushiña (Y'1991-M'09). Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Fiscomisional Don Bosco de la Tola. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en localización de fallas en sistemas de transmisión eléctrica.
fquishpeu@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión Galarza (Y'1981-SM'12). Se graduó en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2010 y en la actualidad está trabajando para lograr su título de Doctor en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana - Medellín Colombia. Es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana - Quito Ecuador. En la actualidad es miembro del Grupo de Investigación Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group).
dcarrion@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2017 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo Diego Francisco Carrión Galarza declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Localización de fallas en sistemas de transmisión eléctrica usando la transformada de wavelet* realizado por Franklin Geovanny Quishpe Ushiña, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero 2017



.....

Diego Francisco Carrión Galarza
Cédula de identidad: 1713703062

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Franklin Geovanny Quishpe Ushiña, con documento de identificación N° 1720625407, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA USANDO LA TRANSFORMADA DE WAVELET ”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....

Nombre: Franklin Geovanny Quishpe Ushiña

Cédula: 1720625407

Fecha: Quito, Febrero 2017

INDICE GENERAL

1. Introducción	7
2. Localización de fallas en sistemas de transmisión	8
2.1 Transformada de wavelet.....	8
3. Formulación del problema	9
3.1 Modelo de localización de fallas en líneas (Propuesto).....	10
4. Análisis de resultados	10
4.1 Localización de fallas en líneas de transmisión con el método propuesto	11
5. Conclusiones	12
6. Referencias	13
7. Matriz estado del arte	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de fallas en sistemas de transmisión	8
Figura 2. Esquema de 9 barras de la IEEE.....	10
Figura 3. Flujo de potencia del esquema de 9 barras de la IEEE.....	10
Figura 4. Señal en pre falla de las líneas.....	11
Figura 5. Señal en falla de la línea 1	11
Figura 6. Localización de falla línea 1	11
Figura 7. Señal en falla de la línea 4.....	11
Figura 8. Localización de la falla línea 4	12
Figura 9. Señal en falla línea 5.....	12
Figura 10. Localización de falla línea 5	12
Figura 11. Resumen e indicadores del estado del arte	12

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos en pre falla de las líneas de transmisión a ser modelado	10
Tabla 2. Datos línea 1 en falla.....	11
Tabla 3. Datos línea 4 en falla.....	11
Tabla 4. Datos líneas 5 en falla.....	12

LOCALIZACIÓN DE USANDO LA TRANSFORMADA DE WAVELET FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Resumen

En este artículo se hace referencia a la localización de fallas en sistemas de transmisión usando como método la transformada de wavelet, teniendo en cuenta principalmente la localización de falla como prioridad, el método híbrido que se refiere a la unión de la descomposición de paquetes de wavelet (WPD) y a la mejora del método de análisis de prony (IPA) que permite realizar el análisis transitorio de las líneas de transmisión y se lo puede llevar a cabo con el algoritmo de la ubicación de falla por alta frecuencia que da parámetros que debemos saber e interpretar a la hora de realizar la localización de la falla. Este método ayuda a la detección por ende a la clasificación e identificación de la línea crítica y así reducir las fallas en los sistemas de transmisión ya sea estos de corta o larga distancia además ayuda a verificar en cualquier instante de tiempo si la línea o las líneas sufren de alguna perturbación o falla.

Palabras Clave: Localización de Fallas, Líneas de Transmisión, Medición de Distancia, Método Híbrido, Transformada de Wavelet.

Abstract

In this article, it refers to the location of faults in transmission systems using as a method the wavelet transform, mainly taking into account the location of the fault as a priority, the hybrid method that refers to the union of the wavelet packet decomposition (WPD) and to the improvement of the prony analysis method (IPA) that allows to carry out the transient analysis of the transmission lines and can be carried out with The algorithm of the location of fault by high frequency that gives parameters that we must know and interpret at the time of locating the fault. This method helps to detect, therefore, the classification and identification of the critical line and thus reduce the failures in the transmission systems, whether these short or long distance also helps to verify at any instant of time if the line or the lines they suffer from some disturbance or failure.

Keywords: Fault Location, Transmission Lines, Distance Measurement, Hybrid Method, Wavelet Transforms.

1. Introducción

Las líneas de transmisión en un sistema eléctrico de potencia (SEP), son una parte esencial para el suministro de energía, se debe tener en cuenta que las protecciones en las líneas cumplen un trabajo muy importante, al localizar las fallas que pueden dañar las líneas y afectar a la confiabilidad del SEP.

Las protecciones son una de las partes importantes que deben tener las líneas de transmisión, que permiten mejorar la fiabilidad de las mismas, para esto se menciona que se puede tener una protección híbrida, que es la unión del método de descomposición de paquetes de wavelet (WPD) y al método de análisis de prony (IPA) [1] [2].

Para tener una mejor velocidad de operación de la protección de línea, se utilizan varios métodos como; protección itinerante, basada en comparación de polaridad y algoritmos como la transformada de wavelet (WT) [2] [3]. Otros métodos utilizados para la localización de fallas en las líneas de transmisión son; transformada de fourier (FT), el análisis de prony (PA), el S-transform (ST), con estos métodos podremos tener parámetros de voltaje y de corriente para el análisis de las fallas en el sistema [3].

Para una ubicación más precisa de la falla tenemos otros métodos más modernos que son; combinación de la transformada de wavelet estacionaria (SWT), característica de la función determinante (DFF), máquina de soporte vectorial (SVM) y soporte de regresión vectorial (SVR), por lo tanto, cada uno de estos métodos nos da la ubicación de la falla [4].

Las líneas de transmisión tienen diferentes clasificaciones como; línea de corta distancia, línea de media distancia y línea de larga distancia, para cada una de estas tenemos diferentes tipos de localización de las fallas y por ende diferentes tipos de protecciones [4].

Por otro lado, las protecciones para líneas de transmisión largas tienen un esquema capaz de diferenciar entre una falla interna o una falla externa en la línea, mediante el análisis de los resultados que estas protecciones arrojan en un intervalo de tiempo, se puede calcular el flujo de energía en la línea para ver si no hay una falla interna en el sistema, toda esta información se la puede utilizar en una etapa de muestreo, con el objetivo de proteger las líneas se puede usar la configuración R-L, que es un proceso teórico que sirve para el proceso de transmisión [3] [5] [6].

Lo más común para la protección de las líneas de transmisión son los relés de distancia (protección 21), ya que ayuda a verificar la impedancia entre el relé y el punto de falla, además se puede usar el algoritmo de búsqueda rápida ortogonal (FOS) que se enfoca en la retransmisión de las líneas de transmisión, la aplicación FOS se puede aplicar a la protección de distancia digital; una nueva manera de proteger las líneas de transmisión [7] [8] [9].

Cuando existe una falla en las líneas de transmisión esto ocasiona la interrupción del flujo de potencia y por lo tanto se necesita la ubicación precisa de la falla, ya que esto ayuda al mantenimiento rápido y la restauración del sistema, mejorando la fiabilidad del mismo [8] [10].

El objetivo de este trabajo es utilizar el método de la transformada de wavelet (WT), que es muy útil en el análisis del voltaje transitorio y en las señales de corriente, que son parte importante tanto en frecuencia como en el dominio del tiempo, la WT se usa para detectar el arco de impedancias en las líneas e identificar fases defectuosas y la ubicación de fallas en las líneas de transmisión, usando la variación del voltaje, corriente y su ángulo ya sea esta al inicio de la línea o la final de la misma [11] [12].

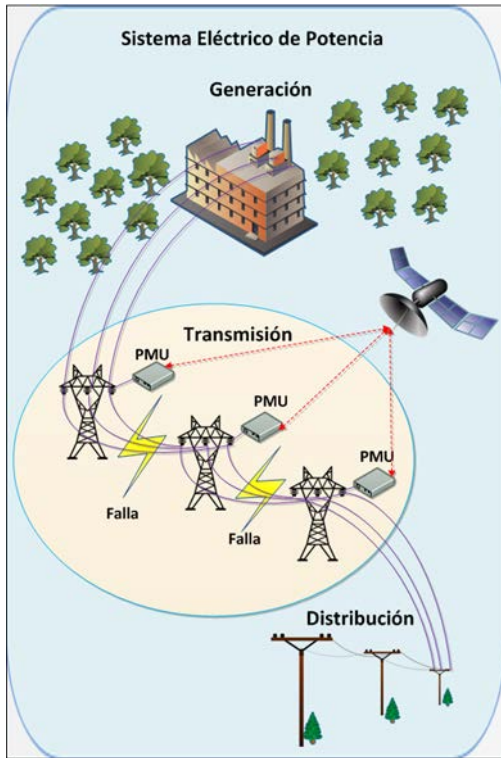


Figura 1. Localización de fallas en sistemas de transmisión

Las fallas en el sistema eléctrico de potencia (SEP) pueden ocurrir tanto en generación, transmisión y distribución, en la figura 1 se indica la ocurrencia de una falla en las líneas de transmisión de un SEP, dicha falla se la puede localizar usando la variación de voltaje y corriente de la línea para luego ser analizada con la transformada de wavelet, dicho método se lo va a explicar en los siguientes apartados. Este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II mencionamos la localización de fallas en sistemas de transmisión. En la sección III se describe el planteamiento del problema. En la sección IV se analizan los resultados. Finalmente en la sección V se presentan las principales conclusiones.

2. Localización de fallas en sistemas de transmisión

En el instante que hay una falla en una línea de transmisión de energía en alta

frecuencia, las señales transitorias de corriente y voltaje son inducidos en el punto de falla [13] [14][15].

Estas señales de alta frecuencia viajan hacia el final de la línea de transmisión, después se reflejan de ida y vuelta entre el punto de falla y el final de la línea, en ese momento la falla se localiza para el análisis correspondiente.

El enfoque que se propone utilizar es la transformada de wavelet (WT), como un fallo inducido HF, que es un detector de corrientes transitorias. La realización de dicha localización, que está sintonizado para extraer las corrientes de alta frecuencia, superpuesta a las corrientes de frecuencia de potencia, en rangos de frecuencia entre [50-100] kHz. Lo llamamos wavelet madre, que es más adecuado para el análisis de transitorios, en términos de velocidad y tiempo se utiliza la localización de frecuencia [16].

El cálculo para la ubicación de la falla en la línea de transmisión se basa en los señales del HF, ya sea desde el punto de falla hacia los extremos de la línea [16]. Se propone la detección de fallas mediante las señales de corriente, que emiten cada una de las fases de las líneas de transmisión, mediante este parámetro se lleva a cabo la detección de las fases afectadas o en falla, que tiene dicha línea estas señales se las procesas utilizando WT [16] [17]. También la WT utiliza filtros pasa altos y filtros paso bajos que estabilizan la señal de potencia y da una aproximación y se puede estabilizar el sistema [18] [19] [20].

2.1 Transformada de Wavelet

La transformada wavelet es un método matemática, que sirve para el análisis de señales no estacionarias. La WT descompone una señal o función, $f(t)$, que ayuda a encontrar un conjunto de coeficientes $C_f(a, b)$, que son parámetros de traslación y escala, eso nos da una función $\psi(t)$ llama la

wavelet madre que está dada por la siguiente ecuación [18]:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

donde "a", "b" representa la escala del tiempo y la traslación, respectivamente. Los coeficientes $C_f(a,b)$, de la transformada de wavelet continua, se define por la siguiente ecuación:

$$CWT_{ab} = \int f(t) \cdot \psi^*_{ab}(t) dt \quad (2)$$

donde "*" se refiere al complejo conjugado.

El análisis de la transformada de wavelet discreta (DWT) implica tener pares sucesivos de filtros paso bajo y de paso alto, en cada etapa de la ampliación de la WT, la primera escala abarca una amplia gama de frecuencias, en la escala final la frecuencia del espectro tiene mayor tiempo de resolución.

Las escalas mayores que cubren el extremo inferior del espectro de frecuencias, son progresivamente anchos de banda más cortos con intervalo de tiempo cada vez más largo [18][21].

La WT es un medio eficaz para el análisis de voltajes y corrientes transitorias, a diferencia de otros métodos mencionados anteriormente, la WT proporciona uniformemente la división del dominio de la frecuencia, no se enfoca solo en analizar la señal y trabaja en alta frecuencia. Esto ayuda a analizar la señal tanto en los dominios de frecuencia y tiempo con mayor eficacia [22] [23].

Un conjunto de funciones de base llamada wavelets, se utilizan para descomponer la señal en diversas bandas de frecuencias, que se obtienen a partir de una wavelet madre por la escala y la traslación. Por lo tanto la amplitud y la incidencia de cada

frecuencia se pueden encontrar con precisión [22].

La WT se aplica para detectar la llegada y el tiempo de las ondas a los terminales, en diferentes fallos de la línea de transmisión. La función de localización en tiempo-frecuencia de la WT hace de esta herramienta adecuado para ser utilizado en los métodos de localización de fallos basado en altos componentes de frecuencia fundamentales [21] [24].

La técnica del análisis multirresolución (MRA) se usa para descomponer la señal del voltaje y corriente en algunos niveles de resolución. Mediante el análisis de ciertos niveles de aproximación, los detalles y las etapas de detección la localización de la falla se procesa [22] [25] [26]. En esta etapa, las señales de corriente y voltaje se descomponen a diferentes niveles de resolución por MRA utilizando el sym3 y db4 wavelet madres. La transformada de wavelet estacionaria (SWT) se utilizó para representar mejor la señal en la descomposición de alto nivel, ya que no considera declinación de la señal durante el proceso de descomposición. Los niveles de detalle y aproximación usadas en las etapas de detección y ubicación de la falla [23] [24] [27].

3. Formulación del problema

Cuando ocurre una falla en las líneas de transmisión de un SEP, la forma de onda ya sea esta de corriente o voltaje sufre alteraciones o perturbaciones en las mismas, representados con picos altos o bajos en toda la línea de transmisión. Las alteraciones que se presentan ocurren en tiempos muy cortos que bordean los milisegundos.

Para poder analizar dichas alteraciones necesitamos de herramientas que nos permitan determinar con precisión el punto exacto de la alteración en la línea. La transformada de wavelet es una herramienta precisa para el trabajo con señales de corriente o voltaje, como se

mencionó en el apartado anterior de este trabajo. Para analizar la falla dicha información es muy útil ya que con ello podemos localizar la misma.

Para la localización de la falla en las líneas de transmisión se ha realizado un modelo basado en la transformada de wavelet usando MATLAB, lo cual se detalla a continuación.

3.1 Modelo de localización de fallas en líneas (Propuesto)

Para la localización de la falla en líneas de transmisión, se realizara un análisis en el esquema de nueve barras de el IEEE que se presenta en la figura 2.

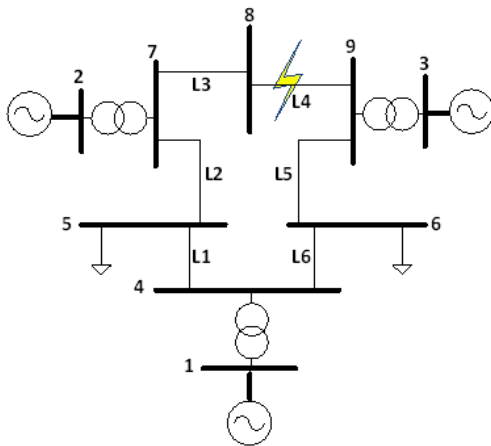


Figura 2. Esquema de 9 barras de el IEEE

Donde L1, L2, L3, L4, L5 y L6 son las líneas a ser analizadas cuando se corra el flujo de potencia en DigSilent y se obtenga los datos reales y datos en falla de las líneas.

En la figura 3 tenemos el flujo de potencia del esquema de 9 barras para el análisis de las fallas en las líneas antes mencionadas.

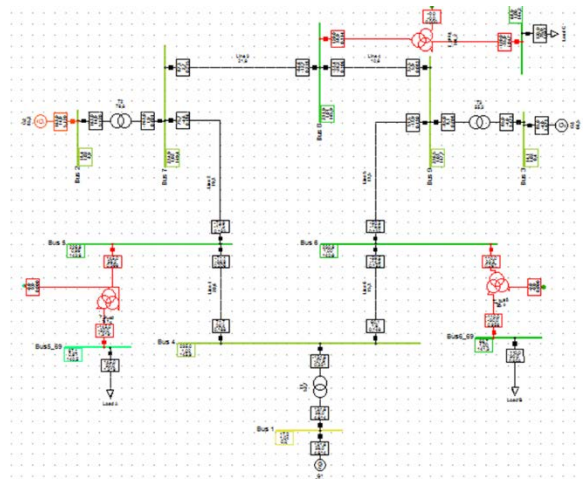


Figura 3. Flujo de potencia del esquema de 9 barras de el IEEE

Finalmente el interfaz gráfico muestra los resultados obtenidos, se muestran además las gráficas de los datos reales y datos en pre falla de las líneas, para luego ser analizados por medio de la transformada de wavelet y así localizar la falla en la línea de transmisión, se describe el algoritmo a continuación.

Algoritmo para la localización de fallas en líneas de transmisión usando la Transformada de Wavelet

Paso 1: Ingreso de Voltajes, Corrientes, Ángulos del Sistema de transmisión en pre-falla y en falla

Paso 2: Reconstrucción de la señal en voltaje y en corriente en pre-falla

Paso 3: Reconstrucción de la señal de la corriente en falla

Paso 4: Graficas de las señales en pre-falla y en falla

Paso 5: Aplicación de la transformada de wavelet a la señal en falla

Paso 6: Aplicación comando wavedec (señal, wname) Señal: corriente en falla Wname: familia wavelet del tipo Daubechie 4 y se obtiene los coeficientes wavelet (c, vl)

Paso 7: Aplicación comando wdecmp (c, vl) y devuelve La señal de ruido comprimida (xd, cxd)

Paso 8: Grafica de xd, señal comprimida de la falla.

Terminar

4. Análisis de resultados

Para las simulaciones y resultados se presenta a continuación en la tabla 1 los

datos que corresponden a los valores reales de las líneas del esquema de nueve barras de la IEEE.

Tabla 1: Datos en pre-falla de las líneas de transmisión a ser modelado

Líneas	Voltaje (p.u)	Corriente (p.u)	Angulo (deg)
Line 1	1	0,188	145,9
Line 2	1	0,193	142,6
Line 3	1	0,215	149,4
Line 4	1	0,083	147,7
Line 5	1	0,135	142,9
Line 6	1	0,148	145,9

En la figura 4 se muestra la simulación de los datos reales que se general al correr el flujo de potencia, todos los valores están en por unidad.

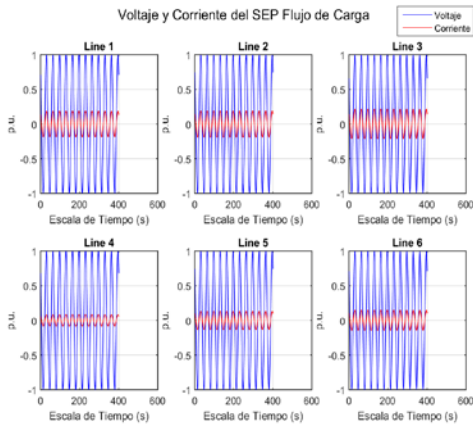


Figura 4. Señales en pre-falla de las líneas

4.1 Localización de fallas en líneas de transmisión con el método propuesto

Para verificar la eficacia del método propuesto se va realizar la localización de la falla en tres líneas de transmisión. Con la señal en pre falla que se tiene se analiza la variación de voltaje, corriente y ángulo con la siguiente ecuación:

$$\text{sen}[(2\pi * f * t) + (\alpha * \pi/180)] \quad (3)$$

Se mantendrán los datos de la tabla 1 para las respectivas simulaciones.

Caso 1:

En la tabla 2 se muestra los datos de la línea 1 cuando se encuentra en falla.

Tabla 2: Datos línea 1 en falla

L1	Voltaje [kV]	Sk'' [MVA]	Ik'' [kA]	ip [deg]
	0	528,86	1,33	94,24

En la figura 5 se muestra la simulación de una falla trifásica en la línea 1 del sistema, cuando la falla se produce la corriente aumenta bruscamente, como se muestra en la figura.

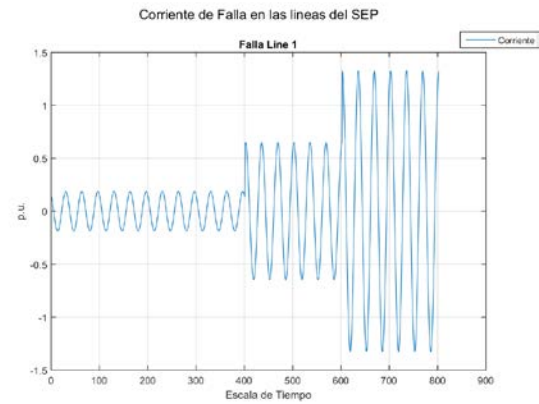


Figura 5. Señal en falla de la línea 1

Para la localización de la falla en la línea 1 aplicamos los filtros wavelet comparando la señal en pre falla y la señal en falla.

Se aplica la ecuación número 3 para dicha localización, teniendo en cuenta la frecuencia, corriente, voltaje y el ángulo (en radianes) para tener la señal de falla y luego se la presenta en su respectivo gráfico.

La falla se localiza cuando hay un aumento de corriente en la línea y existe una perturbación como se muestra en la figura 6 ya que en este caso de falla trifásica el voltaje es cero y su ángulo se desfase, con estos antecedentes tenemos la respuesta a la localización de la falla en la línea.

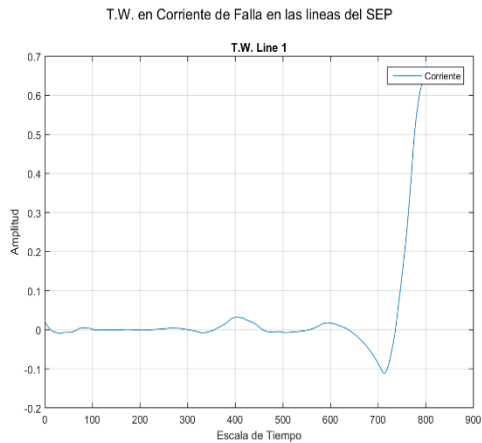


Figura 6. Localización de falla línea 1

Caso 2:

En la tabla 3 se muestra los datos en falla de la línea 4.

Tabla 3: Datos línea 4 en falla

	Voltaje	Sk"	Ik"	ip
	[kV]	[MVA]	[kA]	[deg]
L4	0	339,97	0,85	93,85

En la línea 4 se generó una falla trifásica donde varía la corriente y su ángulo mas no el voltaje ya que este es cero y su forma de onda se muestra en la figura 7.

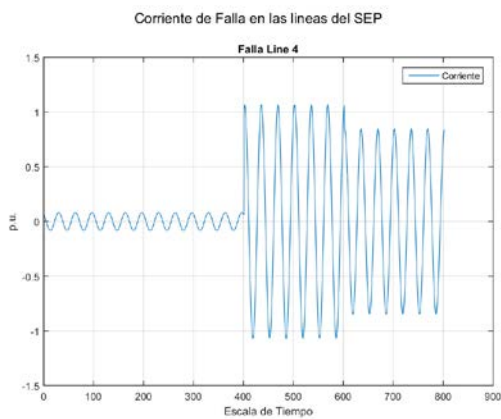


Figura 7. Señal en falla de la línea 4

Aplicando wavelet en la figura 8 se muestra la localización de la falla en la línea 4.

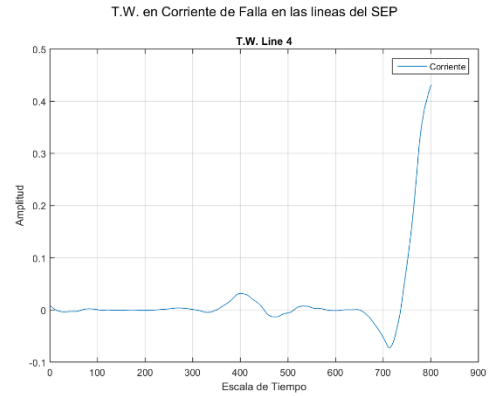


Figura 8. Localización de falla línea 4

Caso 3:

En la tabla 4 se muestra los datos en falla de la línea 5.

Tabla 4: DATOS LÍNEA 5 EN FALLA

	Voltaje	Sk"	Ik"	ip
	[kV]	[MVA]	[kA]	[deg]
L5	0	843,88	2,12	-83,02

En la figura 9 se muestra a la línea 5 cuando se encuentra en una falla trifásica.

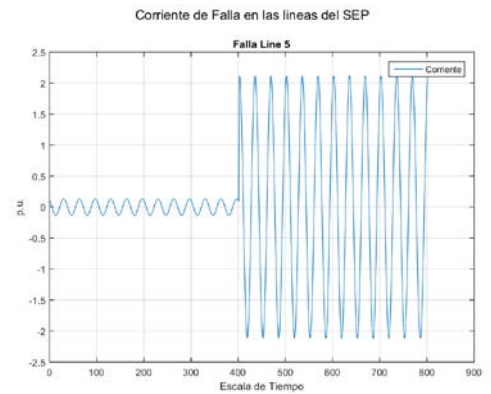


Figura 9. Señal en falla de la línea 5

En la figura 10 se muestra la localización de la falla cuando se le aplica wavelet.

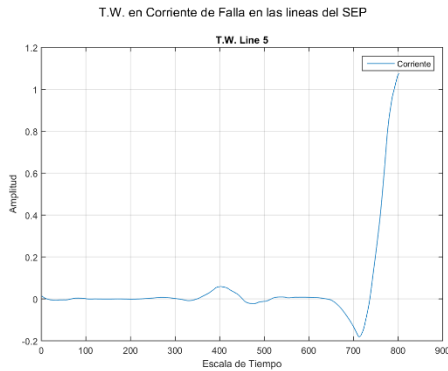


Figura 10. Localización de falla línea 5

Para la localización de la falla en las líneas antes mencionadas aplicamos wavelet del tipo Daubechie 4 y la ecuación número 3 para la localización.

5. Conclusiones

Para la localización de las fallas en las líneas de transmisión se aplicó los filtros wavelet que nos ayudan a precisar el momento en el que ocurre la falla.

Cuando se genera una falla trifásica en las líneas su forma de onda cambia en las 3 fases y esto nos ayuda a localizar la falla más rápido en la línea de transmisión.

En las 3 líneas de transmisión que realizamos la simulación, se comprobó que la velocidad de la localización de la falla en la línea está alrededor de los milisegundos esto nos ayuda a mejorar la estabilidad en el SEP ya que no se produciría una falla grave y evitarías salidas de servicio de las mismas.

Con la presentación de este modelo propuesto en este artículo nos ayuda a tener una herramienta más precisa al momento de localizar una falla en las líneas de transmisión y con la ayuda de wavelet tenemos la ubicación exacta ya que wavelet tiende a trabajar en tiempo real.

6. Referencias

[1] G. B. Zou and H. L. Gao, "Extra high speed hybrid protection scheme for high voltage transmission line," *Int.*

J. Electr. Power Energy Syst., vol. 63, pp. 83–90, Dec. 2014.

[2] F. V. Lopes, B. F. Küsel, K. M. Silva, D. Fernandes, and W. L. A. Neves, "Fault location on transmission lines little longer than half-wavelength," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 114, pp. 101–109, Sep. 2014.

[3] M. Farshad and J. Sadeh, "Transmission line fault location using hybrid wavelet-Prony method and relief algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 61, pp. 127–136, Oct. 2014.

[4] A. A. Yusuff, A. A. Jimoh, and J. L. Munda, "Fault location in transmission lines based on stationary wavelet transform, determinant function feature and support vector regression," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 110, pp. 73–83, May 2014.

[5] M. Wen, D. Chen, and X. Yin, "An energy differential relay for long transmission lines," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 55, pp. 497–502, Feb. 2014.

[6] A. G. Shaik and R. R. V. Pulipaka, "A new wavelet based fault detection, classification and location in transmission lines," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 64, pp. 35–40, Jan. 2015.

[7] A. H. Osman, A. Noureldin, A. El-Shafie, and D. R. McGaughey, "Fast orthogonal search approach for distance protection of transmission lines," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 2, pp. 215–221, Feb. 2010.

[8] B. Vyas, R. P. Maheshwari, and B. Das, "Protection of series compensated transmission line: Issues and state of art," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 107, pp.

- 93–108, Feb. 2014.
- [9] M. Wen, D. Chen, and X. Yin, “Equal transfer processes-based distance protection of EHV transmission lines,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 52, pp. 81–86, Nov. 2013.
- [10] G. Song, X. Chu, X. Cai, S. Gao, and M. Ran, “A fault-location method for VSC-HVDC transmission lines based on natural frequency of current,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 347–352, Dec. 2014.
- [11] S. A. Gafoor, S. K. Yadav, P. Prashanth, and T. V. Krishna, “Transmission line protection scheme using Wavelet based alienation coefficients,” in *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, 2014, pp. 32–36.
- [12] X. Qi, M. Wen, X. Yin, Z. Zhang, J. Tang, and F. Cai, “A novel fast distance relay for series compensated transmission lines,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 64, pp. 1–8, Jan. 2015.
- [13] Z. He, S. Lin, Y. Deng, X. Li, and Q. Qian, “A rough membership neural network approach for fault classification in transmission lines,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 61, pp. 429–439, Oct. 2014.
- [14] P. K. Dash, J. Moirangthem, and S. Das, “A new time–frequency approach for distance protection in parallel transmission lines operating with STATCOM,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 61, pp. 606–619, Oct. 2014.
- [15] C. Cueva and D. Carrión, “Modelación para la localización de fallas en líneas de transmisión de doble circuito,” 2015.
- [16] K. R. Krishnanand, P. K. Dash, and M. H. Naeem, “Detection, classification, and location of faults in power transmission lines,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 67, pp. 76–86, May 2015.
- [17] A. Yadav and A. Swetapadma, “A novel transmission line relaying scheme for fault detection and classification using wavelet transform and linear discriminant analysis,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 199–209, Mar. 2015.
- [18] A. A. Yusuff, A. A. Jimoh, and J. L. Munda, “Determinant-based feature extraction for fault detection and classification for power transmission lines,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 5, no. 12, pp. 1259–1267, Dec. 2011.
- [19] M. S. Mamiş, M. Arkan, and C. Keleş, “Transmission lines fault location using transient signal spectrum,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 53, pp. 714–718, Dec. 2013.
- [20] A. Ahmadimanesh and S. M. Shahrtash, “Novel wavelet transform-based fault location algorithm in three terminal transmission lines,” in *20th Iranian Conference on Electrical Engineering*, 2012, pp. 456–461.
- [21] L. R. Cruz Andaluz, “Aplicación de la transformada de wavelet para ubicación de fallas en sistemas eléctricos de potencia,” 2016.
- [22] M. da Silva, M. Oleskovicz, and D. V. Coury, “A hybrid fault locator for three-terminal lines based on wavelet transforms,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 78, no. 11, pp. 1980–1988, Nov. 2008.
- [23] P. R. N. da Silva, M. M. L. C.

- Negrão, P. Vieira Junior, and M. A. Sanz-Bobi, "A new methodology of fault location for predictive maintenance of transmission lines," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 42, no. 1, pp. 568–574, Nov. 2012.
- [24] R. Aazami, M. R. Haghifam, F. Soltanian, and M. Moradkhani, "A comprehensive strategy for transmission switching action in simultaneous clearing of energy and spinning reserve markets," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 64, pp. 408–418, Jan. 2015.
- [25] B. Keyvani, M. Karbalaye Zadeh, and H. Lesani, "Stability enhancement of multi-machine systems using adaptive reclosing of transmission lines," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 62, pp. 391–397, Nov. 2014.
- [26] S. Saha and M. Aldeen, "Generalised scalable fault dependent time invariant state space model for large interconnected power systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 60, pp. 165–181, Sep. 2014.
- [27] A. Rouhani, S. H. Hosseini, and M. Raoofat, "Composite generation and transmission expansion planning considering distributed generation," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 62, pp. 792–805, Nov. 2014.