

Distance protection algorithm based differential equation

William José Osal Herrera¹ y Miguel García Gracia²

¹Departamento de Ingeniería Eléctrica, Vicerrectorado Barquisimeto, Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre". Parque Tecnológico, Av. Corpahuaico. Apdo. Postal 539 Cable Polinal E-mail: wosal@unexpo.edu.ve

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Zaragoza. Zaragoza E-50018, España. E-mail: mggracia@unizar.es

Abstract

The algorithm of the distance protection based on the differential equation determines the location of a fault in function of the values of the resistance and reactance line that exist in the moment of its occurrence. This algorithm has been tested by investigators with equivalent PI line, being the models line of distributed parameters the most adjusted to the reality. In order to determine the precision of the algorithm in function of the model line considered is carried out the present investigation. The equivalent PI line and models line of distributed parameters is considered. Additionally, the use of digital filters is evaluated. The methodology consists on the simulation of the system of power in the program EMTDC/PSCAD and of the algorithm in the MATLAB to determine its precision and performance limits. A line of transmission of 765 kV is simulated and the results are obtained for single-phase, two-phase and three-phase faults to 10, 50 and 90% of the total longitude of the line. The need of considering an appropriate model of line is demonstrated, and therefore its performance limits, and the improvements that introduce the use of filters.

Key word: Differential Equation Algorithm, Faults, Lines models.

Algoritmo de protección de distancia basado en la ecuación diferencial

Resumen

El algoritmo de la protección de distancia basado en la ecuación diferencial determina la ubicación de una falla en función de los valores de la resistencia y reactancia de línea que existen en el momento de su ocurrencia. Este algoritmo ha sido probado por investigadores con modelos de línea en equivalente PI, siendo el modelo de parámetros distribuidos el que más se ajusta a la realidad. Con el objeto de determinar la precisión del algoritmo en función del modelo de línea considerado se realiza el presente trabajo de investigación. Se considera la línea en equivalente PI y con el modelo de parámetros distribuidos. Adicionalmente, el uso de filtros digitales es evaluado. La metodología seguida consiste en la simulación del sistema de potencia en el programa EMTDC/PSCAD y del algoritmo en el MATLAB para determinar su precisión y límites de actuación. Se simula una línea de transmisión de 765 kV y se muestran los resultados obtenidos para fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas a 10, 50 y 90% de la longitud total de ésta. Se demuestra la necesidad de considerar un modelo adecuado de línea, y por tanto sus límites de actuación, y las mejoras que introducen el uso de filtros.

Palabras clave: Algoritmo de la ecuación diferencial, fallas, modelos de línea.

Introducción

La determinación rápida de una falla con una precisión aceptable facilita la restauración oportuna del suministro eléctrico, dando como resultado mejoras en la seguridad y confiabilidad del sistema de potencia. Existen diferentes técnicas para la determinación de la ubicación de una falla en una línea, entre las cuales cabe destacar: técnicas basadas en las ondas viajeras que se producen al ocurrir la falla [1], esquemas basados en inteligencia artificial [2, 3], técnicas que hacen uso de la descripción de las formas de onda de las tensiones y corrientes a frecuencia fundamental que se producen con la falla [4] y la basada en el modelado de la línea a través de la ecuación diferencial, mejor conocido como algoritmo de la ecuación diferencial (DEA, por sus siglas en inglés) [5,6,7].

El algoritmo DEA presenta como ventaja que puede trabajar con cantidades no sinusoidales en la determinación de la posición a la que ocurre la falla mejorando la precisión de la protección. Este algoritmo ha sido probado por investigadores [8] en función de considerar la línea en su equivalente PI siendo el modelo de parámetros distribuidos el que más se ajusta a la realidad. El presente trabajo de investigación se realiza con el objeto de probar el algoritmo DEA y determinar su precisión y límites de actuación con ambos modelos de línea. Adicionalmente se considera el uso de filtros digitales en el algoritmo y se observa las mejoras que introduce. La metodología seguida consiste en probar el algoritmo ante fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas con distancia de 10, 50 y 90% de la longitud total de la línea, con y sin el uso de filtros digitales. Se modela un sistema de potencia de 765 kV en el programa EMTDC/PSCAD [9] y el algoritmo en el MATLAB.

Cálculo de la distancia de falla

A diferencia de otros, el algoritmo DEA consiste en el modelado del sistema de potencia en vez de considerar el modelo de la señal. Al objeto de modelar este sistema se considera el equivalente monofásico de una línea en falla mostrado en la Figura 1. La ecuación diferencial que describe el comportamiento del circuito viene dada por (1).

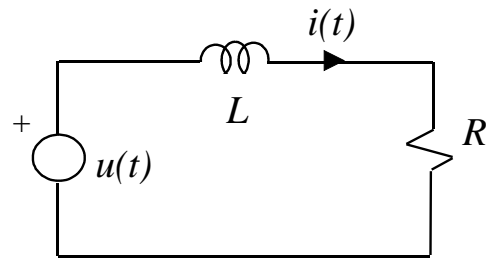


Figura 1. Modelo de un circuito serie R-L de una línea de transmisión.

$$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

Si se considera que la falla ocurre a una distancia determinada, es posible expresar la ecuación de la línea de la forma

$$u(t) = k_r Ri(t) + k_l L \frac{di(t)}{dt} \quad (2)$$

donde los valores de k_r y k_l representan las longitudes en tanto por uno de la línea hasta el punto de falla, las magnitudes $u(t)$ e $i(t)$ están determinadas por las medidas de los transformadores de tensión y corriente y los parámetros R y L son conocidos y dependientes de la línea y, por tanto, es posible estimar la distancia a la falla resolviendo la ecuación diferencial (2).

La representación de la línea mediante el circuito RL de la Figura 1, supone que el modelo es exacto para líneas cortas. Evidentemente el modelo implica otras aproximaciones que son: los transformadores de corriente y tensión son ideales en el rango de frecuencia 50 a 300 Hz, es ignorada la corriente de carga, la resistencia de falla es pequeña y la línea es perfectamente transpuesta. A partir de este modelo de línea monofásica es fácil comprender que una línea trifásica se expresa mediante el sistema matricial siguiente

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = k_r \cdot [R] \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + k_l \cdot [L] \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bajo la hipótesis de la línea completamente transpuesta, estas matrices están definidas en función de los parámetros propios R_s , L_s y los mutuos R_m , L_m .

$$[R] = \begin{bmatrix} R_s & R_m & R_m \\ R_m & R_s & R_m \\ R_m & R_m & R_s \end{bmatrix} \text{ y } [L] = \begin{bmatrix} L_s & L_m & L_m \\ L_m & L_s & L_m \\ L_m & L_m & L_s \end{bmatrix} \quad (4)$$

La relación entre estos parámetros es

$$\begin{aligned} L^+ &= L_s - L_m & R^+ &= R_s - R_m \\ L^0 &= L_s + 2L_m & R^0 &= R_s + 2R_m \end{aligned} \quad (5)$$

donde los superíndices 0 y + se usan para denotar valores de secuencia. De estas expresiones se tiene que

$$\begin{aligned} 3L_m &= L^0 - L^+ \\ 3R_m &= R^0 - R^+ \end{aligned} \quad (6)$$

Luego la ecuación general de la línea, expresada en función de los valores de secuencia, es

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = k_r R^+ \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + k_l L^+ \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + k_r (R^0 - R^+) \cdot \begin{bmatrix} i_0 \\ i_0 \\ i_0 \end{bmatrix} + k_l (L^0 - L^+) \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_0 \\ i_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

donde la corriente de secuencia cero es

$$i_0 = \frac{(i_a + i_b + i_c)}{3} \quad (8)$$

1. Falla monofásica

En el caso de una falla monofásica en la fase a, el sistema de ecuaciones anterior se limita a la ecuación de la fase afectada, esto es

$$\begin{aligned} u_a &= k_r [R^+ i_a + (R^0 - R^+) i_0] + k_l \left[L^+ \frac{di_a}{dt} + \right. \\ &\quad \left. (L^0 - L^+) \frac{di_0}{dt} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

Luego para determinar los valores de k_r y k_l se consideran dos (2) muestras para esta ecuación, en un caso las muestras de corriente y tensión para el instante n y en el otro caso las muestras para el instante siguiente $n+1$, quedando

$$\begin{aligned} u_{a_n} &= k_r [R^+ i_{a_n} + (R^0 - R^+) i_{0_n}] + k_l \left[L^+ \frac{di_{a_n}}{dt} + \right. \\ &\quad \left. (L^0 - L^+) \frac{di_{0_n}}{dt} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} u_{a_{n+1}} &= k_r [R^+ i_{a_{n+1}} + (R^0 - R^+) i_{0_{n+1}}] + \\ &\quad k_l \left[L^+ \frac{di_{a_{n+1}}}{dt} + (L^0 - L^+) \frac{di_{0_{n+1}}}{dt} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Finalmente se forma un sistema de ecuaciones con dos (2) incógnitas k_r y k_l y se determinan sus valores.

2. Falla bifásica

Para una falla entre las fases a y b, se diferencia según la falla tenga conexión a tierra $i_0 \neq 0$, o sin conexión a tierra $i_0 = 0$, aunque en ambos casos la ecuación es

$$(u_a - u_b) = k_r R^+ (i_a - i_b) + k_l L^+ \frac{d}{dt} (i_a - i_b) \quad (12)$$

Al igual que para fallas monofásicas se obtienen dos (2) ecuaciones para dos (2) instantes de muestreo y se forma el sistema de ecuaciones de dos (2) ecuaciones con dos (2) incógnitas que permite determinar los valores de k_r y k_l .

3. Falla trifásica

En el caso de una falla trifásica simétrica la corriente de neutro es nula ($i_0 = 0$), la ecuación general (7) se reduce a la siguiente expresión

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = k_r \cdot [R] \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + k_l \cdot [L] \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (13)$$

Utilizando las componentes α y β definidas por

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \text{ con } M = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Las cantidades trifásicas son condensadas en dos (2) nuevas cantidades ortogonales, a saber

$$\begin{bmatrix} u_{\alpha} \\ u_{\beta} \end{bmatrix} = k_r \cdot [R] \cdot \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} + k_l \cdot [L] \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Luego, al resolver este sistema de ecuaciones basándose en la definición de derivadas por diferencia hacia atrás se tiene

$$\begin{bmatrix} u_{\alpha_n} \\ u_{\beta_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\alpha_n} & i_{\alpha_n} - i_{\alpha_{n-1}} \\ i_{\beta_n} & i_{\beta_n} - i_{\beta_{n-1}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_r \cdot R^+ \\ k_l \cdot L^+ \cdot \frac{1}{h} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Del sistema de ecuaciones se obtiene que los valores de k_r y k_l sean los siguientes

$$k_r = \frac{1}{R^+} \frac{(u_{\alpha_n}) \cdot (i_{\beta_n} - i_{\beta_{n-1}}) - (u_{\beta_n}) \cdot (i_{\alpha_n} - i_{\alpha_{n-1}})}{(i_{\beta_n}) \cdot (i_{\alpha_{n-1}}) - (i_{\alpha_n}) \cdot (i_{\beta_{n-1}})} \quad (17)$$

$$k_l = \frac{h}{L^+} \frac{[(i_{\beta_n}) \cdot (u_{\alpha_n}) - (i_{\alpha_n}) \cdot (u_{\beta_n})]}{(i_{\beta_n}) \cdot (i_{\alpha_{n-1}}) - (i_{\alpha_n}) \cdot (i_{\beta_{n-1}})} \quad (18)$$

Algoritmo DEA

El diagrama de bloques de la Figura 2 muestra el funcionamiento del algoritmo DEA implementado. A partir de las señales de tensión

y corriente obtenidas por simulación del sistema eléctrico en EMTDC/PSCAD [9] y aplicando el método de componentes simétricas [10] se determina el tipo de falla.

Una vez clasificada la falla, el procedimiento de cálculo mostrado anteriormente permite al algoritmo determinar la distancia a la que sucede la falla. Este algoritmo ha sido implementado en MATLAB. Adicionalmente, se aplican tres (3) filtros de Butterworth [11], tal como se muestra en el diagrama de la Figura 2.

En base a la distancia obtenida se establece la decisión de disparo a través de otro algoritmo. Este algoritmo (Figura 3) incluye un contador que se incrementa cuando la falla ocurre dentro de la zona de ajuste y se reduce cuando la falla es externa a la zona de operación del mismo. Este contador suma hasta superar el límite que se debe alcanzar para dar la orden de emisión del disparo. La operación de resta en el contador se ejecuta siempre que la falla se localiza en el exterior de la zona de operación, no estando permitido valores negativos.

Para evitar errores es conveniente establecer un tiempo de retardo correspondiente al tiempo de estabilización mínimo requerido. El

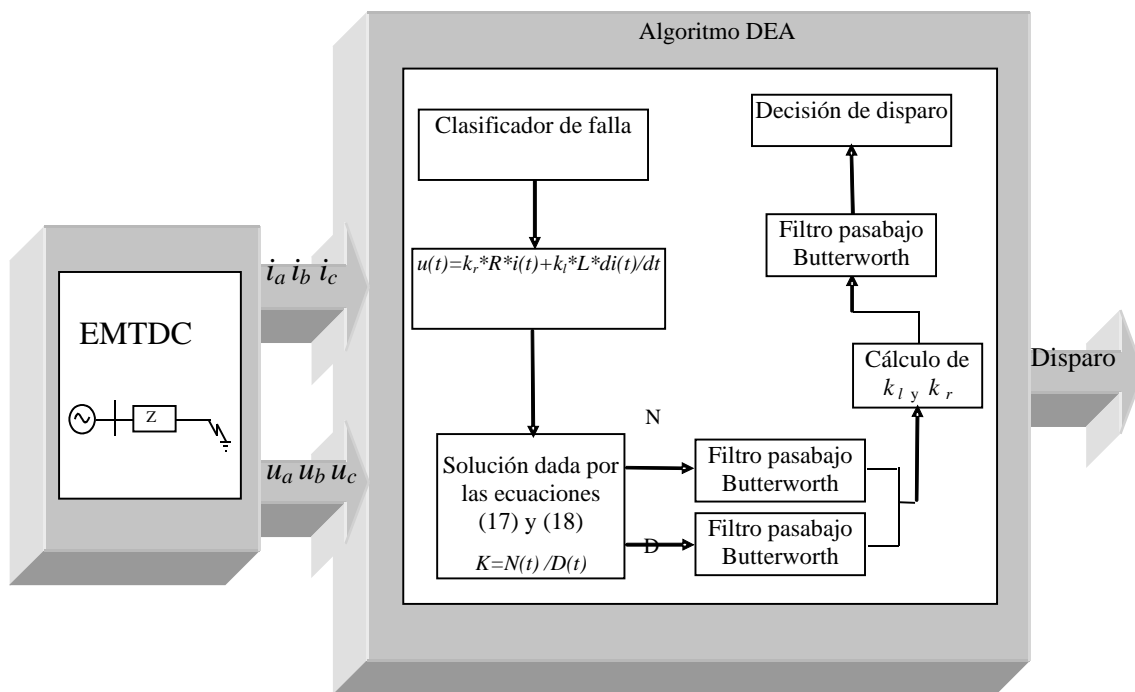


Figura 2. Diagrama de bloques del algoritmo DEA.

tiempo mínimo de estabilización es de 8 ms. Este tiempo dividido por el intervalo de muestreo permite establecer el límite para dar la orden del disparo. Esto evita que oscilaciones, o variaciones de diferentes orígenes en el sistema, puedan provocar cambios transitorios en la distancia estimada por el relé impidiendo disparos indeseados.

Metodología

Para probar el algoritmo DEA se han simulado fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas a una línea, mostrada en la Figura 4, considerándola en su equivalente PI y modelo de parámetros distribuidos. Las distancias de fallas consideradas son 10, 50 y 90% de la longitud total de la línea. Se diferencia entre los resultados obtenidos sin y con filtrado para ambos modelos de línea. Para cada caso se obtuvieron los valores de k_r y k_l y la precisión del algoritmo y sus límites de actuación.

Los datos de la línea son

$$\begin{aligned} R^+ &= 0.0147 \text{ } \Omega/\text{km} \\ L^+ &= 0.000906 \text{ H/km} \\ C^+ &= 1.29 \cdot 10^{-9} \text{ F/km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R^0 &= 0.3949 \text{ } \Omega/\text{km} \\ L^0 &= 0.000312 \text{ H/km} \\ C^0 &= 8.93 \cdot 10^{-9} \text{ F/km} \end{aligned}$$

Resultados de la Simulación

El sistema de potencia (Figura 4) consiste en una línea de transmisión de 765 kV y de 300 km de longitud. En las simulaciones de los diferentes tipos de fallas se ha considerado un intervalo de muestreo de 100 μ s, con un tiempo de simulación de 0.1 s. Para cada caso se obtuvieron los valores de k_r y k_l y la precisión del algoritmo. A continuación se muestran algunos de estos resultados.

1. Sin filtrado aplicado a los valores de k_r y k_l

Las Figuras 5 y 6 muestran los resultados obtenidos para k_r y k_l en el caso de una falla trifásica al 50% de la línea y considerando la línea en equivalente PI y modelo de parámetros distribuidos, respectivamente.

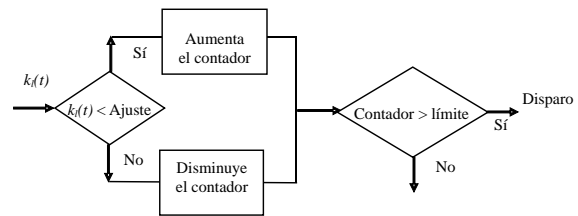


Figura 3. Diagrama de bloques de la decisión de disparo.

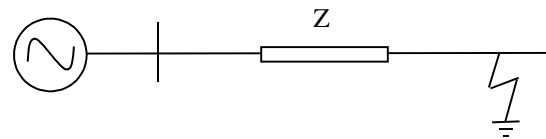


Figura 4. Diagrama unifilar del sistema de potencia en 765 kV.

2. Filtrado aplicado a los valores de k_r y k_l

A continuación se aplican tres (3) filtros en dos (2) etapas, como se indica en el diagrama de bloques de la Figura 2. La primera fase es realizada antes de la división, en donde se filtra por separado el numerador y el denominador de las ecuaciones 17 y 18, después de la división de estos términos se aplica la segunda etapa de filtrado. Los filtros utilizados son los pasabajos Butterworth de tercer orden [11] a una frecuencia de corte de 250 y de 300 Hz para la primera y segunda etapa, respectivamente. En las Figuras 7a, 7b y 7c se representan los resultados de k_l considerando la línea en equivalente PI y modelo de parámetros distribuidos para una falla trifásica al 10, 50 y 90% de la línea.

Discusión de Resultados

En el caso del algoritmo sin filtrado, se obtiene una clara diferencia en los valores de k_r y k_l según el modelo de línea considerado. Con el equivalente PI las oscilaciones de k_r y k_l son significativamente menores que las que se obtienen en el modelo de parámetros distribuidos, según se puede observar para el caso de una falla trifásica al 50% de la línea mostrada en las Figuras 5 y 6. Adicionalmente, en el caso del modelo de equivalente PI se tiene un error de 0.53 p.u., con una banda de indeterminación de ± 0.02 , resultados

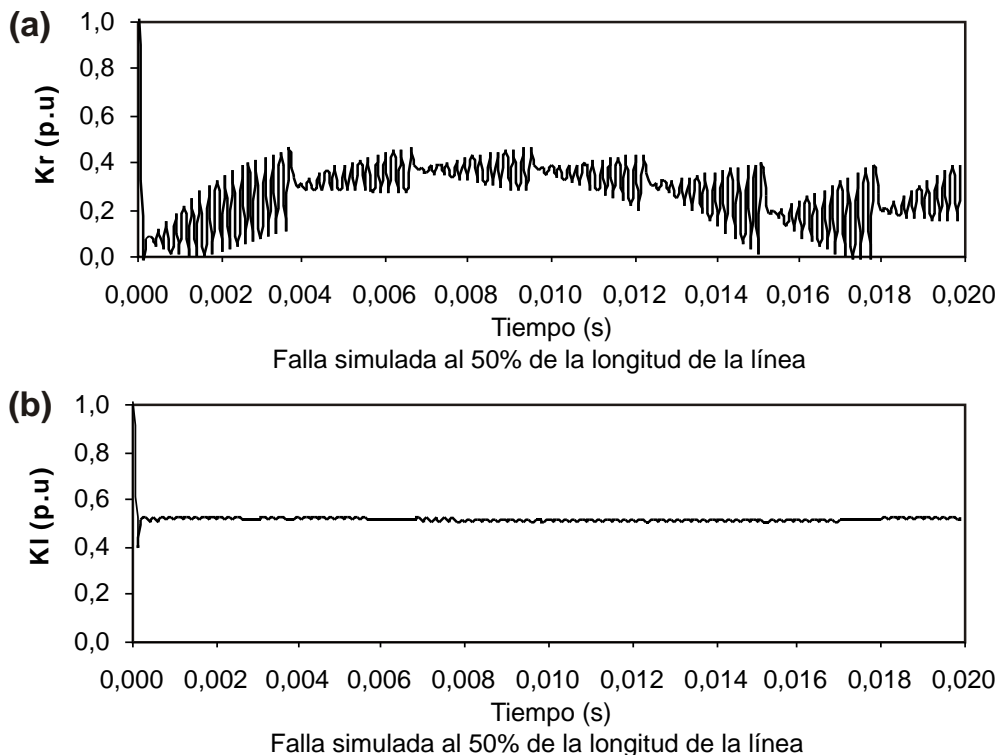


Figura 5. Valores de k_i y k_r para un modelo de línea de equivalente PI.

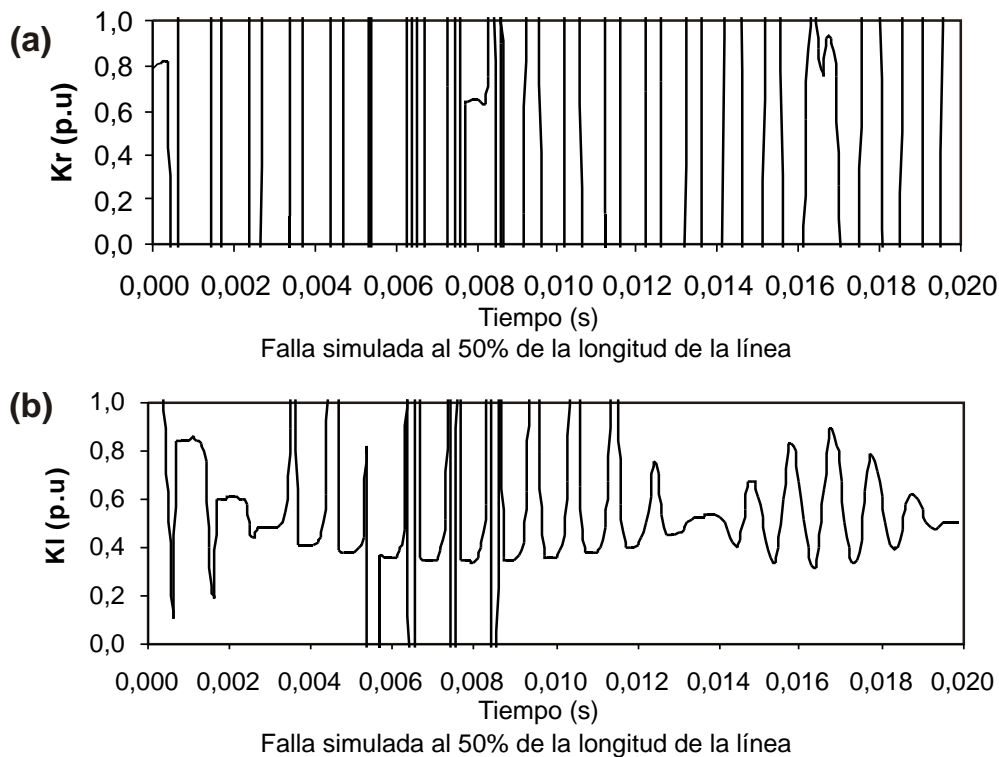


Figura 6. Valores de k_i y k_r para un modelo de línea de parámetros distribuidos.

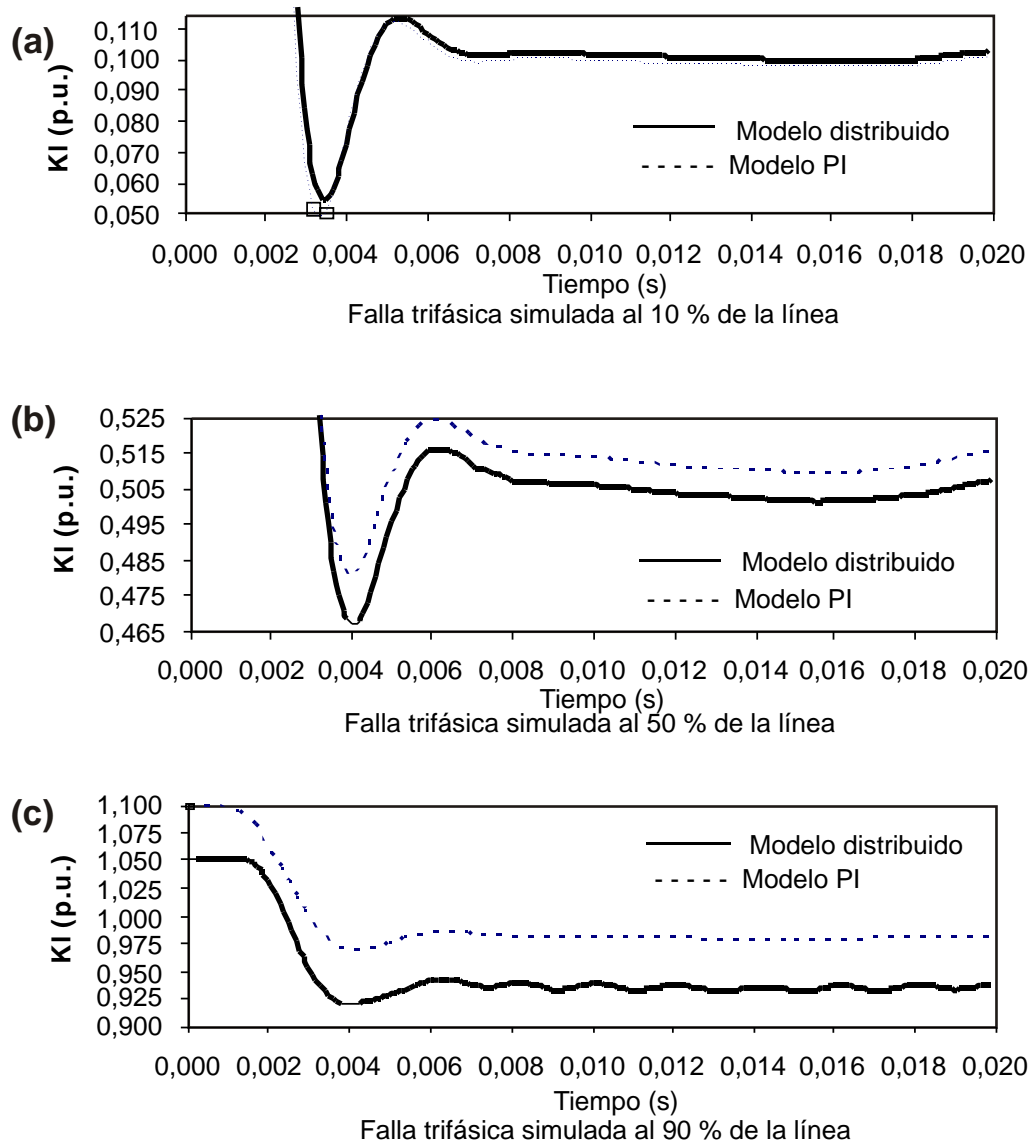


Figura 7. Resultados de k_I para los diferentes puntos de fallas simulados.

insuficientes para la precisión a la cual debe conducir el algoritmo, aun cuando esta respuesta ocurre en un tiempo rápido de 0.3 ms. En el caso del modelo de parámetros distribuidos el resultado es inaceptable para cualquier tiempo de respuesta considerado en una protección. Con base a esto, es evidente la necesidad de considerar un modelo de línea lo suficientemente preciso para el establecimiento de la viabilidad del algoritmo analizado [12].

En el caso del algoritmo con filtrado, se observa como la respuesta de la protección es dife-

rente según el modelo de línea considerado (la Figura 7 representa el equivalente PI en línea discontinua y modelo de parámetros distribuidos en trazo continuo). Asimismo, el nivel de precisión que se alcanza varía de forma importante en función de la distancia de falla para el algoritmo.

En la Figura 7a se muestra una falla trifásica que ocurre al 10% de la longitud de línea al considerar el equivalente PI. En este caso, el algoritmo en 7 ms tiene un error absoluto de 0.001 pu. Sin embargo, cuando se considera el modelo de parámetros distribuidos el error se duplica.

Por tanto, para distancias cortas la estimación del comportamiento del algoritmo mediante el equivalente en PI es mejor que el de parámetros distribuidos (mostrando un comportamiento mejor del que tendría en realidad), aunque con diferencias no excesivas que harían aceptables la consideración de este modelo en estos casos. Cuando la distancia de falla aumenta (Figuras 7b y 7c), la predicción obtenida con el modelo en PI se va alejando significativamente de los valores teóricos y de los estimados al considerar el modelo de parámetros distribuidos. El error es superior al 0.07 p.u. para fallas a más del 90% considerando el modelo en PI, mientras que con el modelo de parámetros distribuidos este error se sitúa en el orden del 0.04 p.u. El origen de este error (0.04 p.u) no está en la imprecisión del modelo de parámetros distribuidos. La consideración de un modelo más exacto consistiría en aplicar un modelo con parámetros dependientes de la frecuencia, aunque ello no mejora los resultados en este caso debido al filtrado aplicado y la consiguiente eliminación de los armónicos.

El error hay que buscarlo en el propio modelado del algoritmo DEA puesto que de acuerdo con la ecuación (1), o el circuito correspondiente de la Figura 1, se desprecian los efectos capacitivos de la línea. Un modelo más preciso se podría obtener considerando los mismos, lo que resulta en una ecuación de segundo orden dada por (19), aunque la solución por esta vía es compleja desde el punto de vista numérico siendo necesarias al menos cuatro (4) grupos de muestras de tensión y corriente.

$$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} - RC \frac{du(t)}{dt} - LC \frac{du^2(t)}{dt^2} \quad (19)$$

Finalmente, de estos resultados se observa que el algoritmo es operativo para determinar los valores de k_f a partir de los 7 ms, por tanto, a efectos de obtener el tiempo de respuesta cualquiera de los modelos analizados resulta válido. No ocurre lo mismo cuando la precisión de la estimación tiene importancia, en tal caso sólo es aceptable el modelo de parámetros distribuidos.

Conclusiones

El nivel de precisión alcanzado con el algoritmo de la protección de distancia basado en la ecuación diferencial considerando la línea con su

equivalente PI y el modelo de parámetros distribuidos varía de forma importante en función de la distancia de la falla. De esta forma, para distancias cortas la utilización del equivalente en PI da lugar a resultados aceptables, aunque conforme la distancia a la falla aumenta su estimación obtenida por el equivalente PI se aleja de su valor real. Por ello en estudios que implican distancias largas, la utilización del equivalente PI no da suficiente validez para probar el algoritmo, siendo la utilización de un modelo de parámetros distribuidos la mejor opción.

Al utilizar el modelo de parámetros distribuidos se demuestra la necesidad de utilizar una etapa de filtrado para poder obtener resultados válidos, hecho que pasa desapercibido con el equivalente PI. El filtro ajustado en este caso es el pasabajo Butterworth de tercer orden.

Lista de Símbolos

$i(t)$:	Corriente vista por el relé (A)
k_r :	Longitud de la línea hasta el punto de falla (p.u.)
k_l :	Longitud de la línea hasta el punto de falla(p.u.)
L :	Inductancia del conductor (H/km)
L_m :	Inductancia mutua de una línea transpuesta (H/km)
L_s :	Inductancia propia de una línea transpuesta (H/km)
[L]:	Matriz de inductancia para toda la línea (H/km)
R :	Resistencia del conductor (\dot{U}/km)
R_m :	Resistencia mutua de una línea transpuesta (\dot{U}/km)
R_s :	Resistencia propia de una línea transpuesta (\dot{U}/km)
[R]:	Matriz de resistencia de toda la línea (\dot{U}/km)
$u(t)$:	Tensión vista por el relé (V)

Referencias Bibliográficas

1. Lee H.: "Development of an accurate traveling wave fault locator using global position-

- ing satellites". Spring Meeting of the Canadian Electrical Association, (1993), pp. 11.
2. De Souza J., Rodriguez: "Fault Location in Electric Power Systems Using Intelligent Systems Techniques". IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16, No. 1, (2001), pp. 59-67.
 3. Segui T. and e.t: "Fundamental Basic for Distance Relaying with Parametrical Estimation". IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16, No. 1, (2001), pp. 99-104.
 4. Schweitzer E.: "Evaluation and Development of Transmission Line Fault Locating Techniques Which Use Sinusoidal Steady-State". Proceedings of the 9th Annual Western Protective Relay Conference, (1982), pp. 16.
 5. Phadke A. and Thorp J.: "Computer Relaying for Power Systems". Research Studies Press Ltd, 1994.
 6. Johns A. and Salman S.: "Digital Protection for Power Systems". Peter Peregrines Ltd. on behalf of IEE, U.K., 1997.
 7. Akke M. and Thorp J.: "Some Improvements in the Three-Phase Differential Equation Algorithm for fast transmission Line Protection". IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 1, (1998), pp. 66-72.
 8. Himcapié R. y otros: "Aplicación de redes Neuronales Artificiales en la Protección de Distancia en Líneas de Transmisión". Scientia et Technia, N° 24, (2004), pp 97-102.
 9. "Manual EMTDC/PSCAD V3.0". Manitoba HVDC Research Centre Inc., edition 4, Canada, 2001.
 10. Wag L.: "Frequency Responses of Phasor-Based Microprocessor Relaying Algorithms". IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, (1999), pp. 12.
 11. Oppenheim A. and Schafer R.: "Discrete-Time Signal Processing", Prentice Hall International Inc., USA, 1989.
 12. Kawady T. and Stenzel J.: "Investigation of Practical Problems for Digital Fault Location Algorithm Based on EMTP simulation". IEEE Transmission and Distribution Conference and Exhibition, USA, (2002), pp. 118-123.
- Recibido el 08 de Enero de 2004
En forma revisada el 28 de Noviembre de 2005