



APLICACIONES INDUSTRIALES

Localización de fallas en líneas de transmisión usando información de un extremo

Location of failure on transmission line using with on one end information

Carlos Manuel - Hernández Román.

Recibido: Mayo del 2011

Aprobado: Septiembre del 2011

Resumen/ Abstract

Se realiza un estudio del tratamiento de señales con el algoritmo de filtrado de Fourier y de localización de fallas por tres algoritmos diferentes y se presenta un software sobre MATLAB para la determinación (con información de un extremo) de la distancia a la falla en Líneas de Transmisión Eléctricas (LTE) a partir de registros oscilográficos obtenidos de relevadores digitales en eventos que por sus características e importancia lo requieran. Un procedimiento con el que fueron tratados 15 registros de eventos reales valida la mejora del proceso de localización con la aplicación de dicho software. Se presenta un resumen en forma de tabla del tratamiento de estos registros. Se recomienda su uso por personal calificado que pueda determinar de forma visual los mejores intervalos de aplicación, también se recomienda en el estudio de fallos repetitivos o al corroborar localizaciones previas realizadas por equipamientos digitales.

Palabras clave: Localización de fallas, líneas de transmisión, registros oscilográficos, cálculo de la distancia hasta la falla

A study on the treatment of signs with different filtering and locating algorithms is carried out. A software in MATLAB for determining the distance to the failure on Electric Transmission Lines (with information of one end) out of oscilographic registers obtained from digital relays on events that require them, due to their characteristic and importance. A procedure, by which fifteen real event registers were treated, validates the improvement of the location process with the use of such software. An abridged table for the treatment of these registers is presented. Its use is recommended for qualified personnel that may determine –by sight- the best intervals of application. It is also recommended that a study on frequent failures be made, or confirmation of previous locations by digital equipments.

Key words: Fault location, transmission lines, oscilographic registers, fault distance calculation

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de los parámetros muestreados en los elementos de los sistemas eléctricos en condiciones normales y de avería brinda información para la actuación del equipamiento y el personal que supervisa los mismos, en la medida que estos parámetros se aparten de los límites establecidos, máspreciado es que ese tratamiento sea ideal, es decir en condiciones de avería la información obtenida de dichos parámetros debe acercarse lo mas posible a lo previsto, el personal reacciona normalmente ante informaciones de estado estable pero el equipamiento debe ser capaz de tomar decisiones aún sin el pleno desarrollo de la condición para que son diseñados .

Todo el análisis de corrientes de cortocircuitos para el ajuste de las protecciones se realiza en estado estable y si se desea obtener una buena respuesta donde esa condición no se ha alcanzado todavía, hay que ser capaces de extraer de esas señales la información deseada.

Con el advenimiento de los relevadores digitales las técnicas de procesamiento de las señales de entrada han logrado resultados que analógicamente resultarían imposibles.

Señales de voltaje, corriente, frecuencia son procesadas y obtenidos los criterios a evaluar. Este procesamiento con la aplicación de la tecnología a microprocesadores ha logrado resultados nunca antes esperados, complicados cálculos matemáticos son realizados con alta precisión y velocidad.

La medición de la distancia a la falla con vista a la desconexión selectiva o la localización de la misma en líneas con varias fuentes ha sido en el caso de las protecciones de líneas y dispositivos específicos tema permanente.

A partir de señales muestreadas en fallos reales se comprueba la mejora de la localización del lugar fallado, al poder determinar y seleccionar las fases y tiempo de muestreo de las señales implicadas en el evento donde aplicar el algoritmo de localización.

Se realiza una investigación del comportamiento de la localización realizada por diferentes relevadores digitales instalados en nuestro país y se obtienen de ellos las señales que son reprocesadas "OFF-LINE" mostrándose los resultados con los tres algoritmos fundamentales para esta técnica.

ALGORITMOS DE FILTRADO Y LOCALIZACIÓN

La disminución de los tiempos de apertura y recuperación con el objetivo de minimizar los daños lleva al tratamiento de dichos parámetros en condiciones que se necesita un procesamiento previo para evitar errores por la contaminación de los mismos.

Deformaciones introducidas a las señales de entrada por diferentes fenómenos como lo son compensaciones capacitivas series, transductores de corriente y voltaje, reactancias series, corrientes de magnetización y por la misma configuración del sistema obligan a un filtrado análogo-digital previo para poder procesar matemáticamente señales más limpias.

La aplicación de distintos algoritmos para el filtrado, variaciones en la frecuencia de muestreo, ventanas de datos, son tratados en varios trabajos de la bibliografía consultada.

El algoritmo de Fourier es quizás el algoritmo de filtrado digital más usado para la estimación de los parámetros (voltaje y corriente) en las protecciones digitales.

Algoritmo de filtrado digital [1]

A partir de k muestras de las señales se obtienen los pares ortogonales que nos permitirán

$$Y_c(m) = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K X_k \cos(mk\theta)$$

$$Y_s(m) = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K X_k \sin(mk\theta)$$

donde $\theta = \omega_0 \Delta t$

El valor modular es:

$$|Y(t)| = \sqrt{Y_c^2 + Y_s^2}$$

y el ángulo $\Phi = \arctg Y_s / Y_c$

donde:

x_k – coeficientes del filtro para las distintas armónicas

k – señales procesadas

Y_c, Y_s – pares ortogonales

$Y(t)$ – señal filtrada

θ – distancia angular entre muestras

m – muestra

De esta forma se obtienen el módulo y el ángulo del voltaje y la corriente.

Este algoritmo de filtrado digital es comúnmente llamado filtrado de Fourier.

Algoritmos de Localización de Fallas.

La localización ideal de la falla está afectada también por las condiciones de prefalla y resistencia de falla.

Los algoritmos de Reactancia, Takagi y Fasores son ampliamente usados en la práctica internacional para el análisis del comportamiento en estado transitorio y estable y son los seleccionados para usar en el software propuesto.

Algoritmo de Reactancia [2]

Este algoritmo es muy utilizado por los relés de distancia que se comercializan para el cálculo de la distancia a la falla, trabajando con la parte imaginaria de la ecuación de la impedancia trata de resolver el error introducido por la R_f pero al no ser los sistemas homogéneos y poseer alimentación por ambos extremos las líneas falladas en un gran porcentaje de las veces no es lo suficientemente exacto. Figura 1.

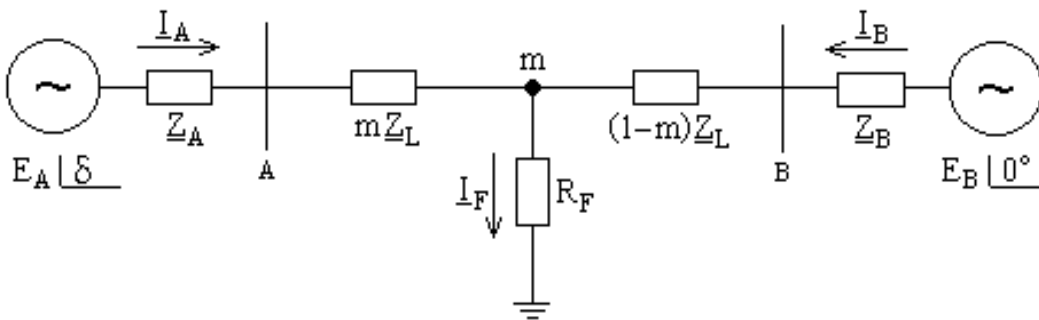


Fig.1. Sistema alimentado por ambos extremos.

La medición de lugar de la falla m es:

$$m = \frac{1}{X_l} \operatorname{Im} \left\{ \frac{V_a}{I_a} \right\}$$

y el error introducido es:

$$\text{Error} = \frac{R_f}{X_l} \operatorname{Im} \left\{ \frac{I_{falla}}{I_{acc}} \right\}$$

Donde

m – medición real de la distancia a la falla

Error - diferencia entre la medición realizada y la real a la falla.

R_f – Resistencia de falla en ohms.

X_l – Reactancia de la línea fallada en ohms.

$\operatorname{Im} \left\{ \frac{I_{falla}}{I_{acc}} \right\}$ – módulo de la parte imaginaria de la relación entre la corriente en el cortocircuito y la del extremo

donde se realiza la medición

Por lo que las mediciones que se realizan en las condiciones reales siguientes pueden asumirse ser exactas e influidas sólo por los errores de transductores usados y parámetros estimados:

- Recierre no exitoso con ausencia de voltaje en la línea.
- Cierre manual contra falla.

- Ausencia de generación en el extremo opuesto de donde se realiza la medición.
- Alimentación real de los cortocircuitos de no sólo una fuente.

Algoritmo de Takagi [3]

Este algoritmo trata de resolver el error introducido por Rf a partir de un procesamiento matemático pero mantiene las fuentes de error que traen aparejado la alimentación desde dos fuentes no homogéneas. Aquí

$$m = \text{Im}\{\underline{V}_a \underline{I}_a^{**} e^{-j\alpha}\} / \text{Im}\{\underline{Z}_l \underline{V}_a \underline{I}_a^{**} e^{-j\alpha}\}$$

para $\alpha=0$, es decir el sistema es homogéneo se obtiene

$$m = \text{Im}\{\underline{V}_a \underline{I}_{acc}^{**}\} / \text{Im}\{\underline{Z}_l \underline{V}_a \underline{I}_{acc}^{**}\}$$

donde

$\underline{V}_a$ – voltaje de la fase fallada

$\underline{I}_{acc}^{**}$ - conjugada compleja de la corriente donde se realiza la medición.

Por lo que mantiene los errores introducidos por la no homogeneidad del sistema y de la estimación de parámetros resolviendo los de la Rf (arco y falla).

Algoritmo de Fasores [4]

Este algoritmo fue desarrollado por General Electric (GE) y es denominado con ese nombre porque usa los fasores de voltaje y corriente obtenido por el relevador mediante la Transformada Discreta de Fourier.

La expresión final de m es la siguiente

$$m = \frac{V_{AC} I_{AS} - V_{AS} I_{AC}}{(I_A Z_L) C I_{AS} - (I_A Z_L) S I_{AC}}$$

La ecuación anterior demuestra que la localización de la falla es obtenida mediante magnitudes disponibles en el relevador. Se observa que se utiliza la parte real e imaginaria de $I_A Z_A$, este término refleja el hecho de que la señal de corriente ha sido procesada por el algoritmo de la impedancia réplica (transreactor digital) el cual está diseñado para remover la componente aperiódica de la corriente (offset). En dependencia del tipo de falla debe ser usada las magnitudes de voltaje y de corrientes adecuadas.

Falla de la fase A a tierra:

$$V_A = V_\alpha$$

$$I_A Z_L = (I_\alpha - I_o) ZR_1 + K_o I_o ZR_o$$

$$I_{FA} = (I_\alpha - I_{\alpha - carga})$$

Donde:

ZR_1 es la impedancia réplica de secuencia positiva de la línea

ZR_o es la impedancia réplica de secuencia cero de la línea

K_o es el coeficiente de compensación de la línea

Para el cálculo de las fallas en la fase B y C se usarán las cantidades asociadas a las fases falladas.

Falla entre las fases AB

$$V_A = V_\alpha - V_\beta$$

$$I_A Z_L = (I_\alpha - I_\beta) ZR_1$$

$$I_{FA} = (I_{ab} - I_{ab - carga})$$

Para calcular las fallas entre las fases BC y CA se usarán las magnitudes asociadas a las fases en cortocircuito.

SOFTWARE LOCALIZACIÓN

Se propone y valida el software *LOCALIZACIÓN* sobre *MATLAB* que a partir de oscilogramas en formato COMTRADE [5] obtenidos de equipamientos digitales y tomando como base las muestras almacenadas procede a reproducir y filtrar las mismas con el uso de un Filtro de Fourier, reprocesándose con la aplicación de los algoritmos mencionados para obtener el comportamiento de la distancia a la falla a lo largo del intervalo de muestras que se seleccione.

Se obtienen las señales de corriente y voltaje de las fases falladas en el intervalo deseado así como el comportamiento de la localización a lo largo de el, así se puede seleccionar el intervalo de mayor convergencia o el que por las condiciones de la falla o las señales prevea mas posibilidades de ello.

A continuación se muestran las principales pasos en la ejecución del Software *LOCALIZACION* elaborado sobre *MATLAB*.

- Introducción de los datos de línea y transductores del interruptor que la alimenta.
- Selección del registro en formato COMTRADE a procesar.
- Selección de los datos de línea e interruptor deseados, teniendo en cuenta si son primarios o secundarios.
- Selección del Intervalo de tiempo en ms que se desea analizar, la frecuencia de muestreo y la frecuencia nominal del sistema.

Así se obtienen las señales de voltaje y corriente en el intervalo que se seleccione, realizándose una observación más exacta del intervalo adecuado para la localización:

Luego se aplican los algoritmos de localización de acuerdo al comportamiento de las señales y en el intervalo de muestras donde se espere una mejor convergencia.

VALIDACION DEL SOFTWARE CON EVENTOS REALES

A continuación se muestra el procedimiento seguido en la validación del software *LOCALIZACION* a partir de oscilogramas de fallas reales extraídos de equipamientos digitales instalados en el Sistema y contando con el apoyo de archivos descriptivos en formato digital así como informaciones exactas del tipo y distancia de la falla. En el Sistema Electronergético Nacional de Cuba existen instalados diferentes tipos de relés y localizadores de falla digitales, por ser los mas comunes se analizaron registros procedentes de tecnología SIEMENS, AREVA y REFA.

Se seleccionaron registros con distintas tipicidades con el objeto de tratar de analizar las condiciones más disímiles y comunes que se le presentan al Ingeniero que acomete esta tarea. Registros de cortocircuitos monofásicos, bifásicos y bifásicos a tierra fueron procesados, con alta I_{prefalla}, sin I_{prefalla}, evolutivos, en recierres no exitosos y cierres contra falla y ellos algunos en presencia de componentes aperiódicas y otros no.

Todos estos registros fueron analizados a partir de:

- Registro oscilográfico almacenado digitalmente por el dispositivo.
- Eventos descriptivos coincidentes con el registro oscilográfico.
- Datos de la línea en cuestión.
- Datos aportados por la organización eléctrica acerca del evento.

Para la mejor organización del estudio se estableció nombrar los registros por un texto que trae implícito en el los siguientes los datos:

- Nombre del interruptor de procedencia.
- Fecha con el formato de de seis dígitos de día, mes y año
- Hora con el formato de cuatro dígitos hora y minutos.

Después de procesar todas las fallas los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Evento	Equipo	Falla real	Distancia dada por el equipo		Distancia dada por el Software	
			Kms	Error	Kms	Error
902601051112	7SA511	65	70	2.91	68	1.74
502601051112	7SA511	53	57	2.33	55	1.16
502601051112R	REFA	54	60	3.49	57	1.74
4202401051600	7SA522	15	21	3.49	17	1.16
702201051921R	REFA	168	176	4.65	170	1.16
3702201051919	7SA511	170	175	2.91	171	0.58
2032209041512	P442	39	45	3.49	43	2.33
B2032209041532	P442	41	45	2.33	43	1.16
2172801051034	P442	29	29	0.00	30	0.58
3700802051600	7SA511	165	175	4.55	168	1.36
700802051600R	REFA	140	148	3.64	146	2.73
2041002050725	7SA511	202	209	3.18	196	-2.73
4101207041739	7SA522	67	76	4.09	71	1.82
4101207041741	7SA522	64	72	3.64	66	0.91
012070417411	7SA522	71	78	3.18	74	1.36

Las ventajas que tiene el uso del software *LOCALIZACION* es que permite localizar la falla mediante tres algoritmos diferentes y por tanto el usuario puede seleccionar el más adecuado, además permite realizar la localización en el intervalo donde las magnitudes de corriente y voltaje son estable y por tanto la localización es mucho más exacta a la que brinda cualquier relevador. Brinda el valor promedio y la desviación estándar de la localización. Los años de explotación del mismo por el Despacho de Carga del SEN demuestran su efectividad.

CONCLUSIONES

La localización de fallas en líneas de transmisión de energía se convierte asiduamente en un problema fundamental para la calidad del servicio que brindan las Empresas de Transmisión y Distribución por lo que toda mejora que se introduzca en la exactitud o rapidez con que se realice esta redonda en una disminución del costo de la reparación de la avería e incluso de las afectaciones del suministro a los consumidores.

Se propone y valida un software como herramienta ingeniera para el tratamiento fuera de línea de la localización de este tipo de fallas. Fácil de utilizar para personal con conocimientos circuitales mínimos de sistemas eléctricos aunque su máximo aprovechamiento por supuesto es logrado por personal con experiencia y calificación en el tratamiento de eventos en redes eléctricas.

Se tratan registros procedentes de distintos equipamientos apoyándonos en el uso de un formato común utilizado internacionalmente.

RECOMENDACIONES

Establecer en las empresas que utilicen este software una rutina de almacenamiento de todos los datos alrededor de un evento. Que incluya las localizaciones realizadas automáticamente así como del recorrido de la línea fallada que pudiese esclarecer el origen y tipo de la falla.

Al trabajarse con datos de líneas calculados a partir de tabulaciones de fabrica y proyecto, deben recalcularse los parámetros a partir de eventos reales e incluso incluir correcciones tabuladas donde las diferencias sean ostensibles. Tener en cuenta la diferencia de valores entre fases de acuerdo a su distribución física y así como la reactancia mutua en líneas paralelas.

A medida que disminuyen los tiempos de limpieza de los interruptores mayor es la posibilidad de tener que realizar el tratamiento en condiciones con alta contaminación en las señales por lo que un estudio e incorporación del efecto de los transductores es conveniente así como del filtrado necesario para atenuarlo.

Analizar para la incorporación al software la corrección de los errores que introduce el procesamiento digital.

REFERENCIAS

- [1] HECTOR J. ALTUVE F., I. D. V., ERNESTO VAZQUEZ M. , et al. "Algorithms for Distance Protection". *Fourier and Walsh Digital Filtering . Universidad Autónoma Nuevo León IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, nº.1. February 1996, [en línea] Disponible en Internet <http://ieeexplore.ieee.org/>
- [2] GE ALEXANDER, J. K. *Variable digital response time in a digital distance relay, Protection and Control General Electric Company Malvern, PA* Disponible en: [en línea] <http://store.gedigitalenergy.com/FAQ/Documents/DLPD/GER-3798.pdf>
- [3] T.TAKAGI, Y. Y., M.YAMUAURA, R.KONDOW, T.MATSUSHIMA. . *Development of a New Type of Fault Locator Using One Terminal Voltage and Current Data*. Disponible en: [Consultado el: The Tokyo Electric Power Co., Inc. [en línea] Disponible en Internet <http://ieeexplore.ieee.org/>
- [4] GE ALEXANDER, J. K. *Evaluation of a phasor-based fault location algorithm. Protection and Control General Electric Company Malvern, PA* Disponible en: [Consultado el: [en línea] Disponible en Internet <http://store.gedigitalenergy.com/FAQ/Documents/L90/GER-3963.pdf>
- [5] IEEE COMTRADE IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems IEEE C37.111-1991 Disponible en: [en línea] <http://read.pudn.com/downloads90/doc/fileformat/343245/IEEECOMTRADE.pdf>

AUTOR

Carlos Manuel Hernández Román

Ingeniero Electricista Master, Especialista de Protecciones Eléctrica en Camagüey, Cuba.

carloshcu@yahoo.com