

Pascual, Héctor O.; Albanese, Ariel A.; Maccarone, José L.

Héctor O. Pascual

opascual@frlp.utn.edu.ar

CODAPLI-TSSE (UTN-FRLP), Argentina

Ariel A. Albanese

albanese@frlp.utn.edu.ar

CODAPLI-TSSE (UTN-FRLP), Argentina

José L. Maccarone

josmacca@gmail.com

CODAPLI-TSSE (UTN-FRLP), Argentina

Ingenio Tecnológico

Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

ISSN-e: 2618-4931

Periodicidad: Frecuencia continua

vol. 6, e046, 2024

ingenio@frlp.utn.edu.ar

Recepción: 01 Noviembre 2023

Aprobación: 01 Abril 2024

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/266/2664941001/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: En un sistema de protección de distancia o impedancia, el relé es el dispositivo que recibe las señales de tensiones y corrientes provenientes del sistema eléctrico de potencia con el objeto de extraer la información de frecuencia fundamental (50 Hz en Argentina). Para obtener los fasores de las tensiones y corrientes que permitan determinar la impedancia de frecuencia fundamental, los relés digitales utilizan diferentes tipos de algoritmos tales como: Fourier, Seno, Coseno, Walsh, CAL, SAL, Mínimos cuadrados, Kalman, etc. El cálculo de la impedancia proporcional a la distancia eléctrica a la falla generalmente debe realizarse de manera rápida. Este tiempo se encuentra alrededor de un ciclo de la frecuencia fundamental después del inicio de la falla. En tal sentido es objeto del presente trabajo, mostrar las características que deben presentar los algoritmos de filtrado de las señales de tensiones y corrientes para que el sistema de protección pueda cumplir correctamente con su función de despejar la falla en el sistema, dentro de un periodo de tiempo apropiado.

Palabras clave: Protecciones, Algoritmos, Sistemas de Potencia.

Abstract: In a distance or impedance protection system, the relay is the device that receives the voltage and current signals from the power electrical system in order to extract the fundamental frequency information (50 Hz in Argentina). To obtain the voltage and current phasors that allow determining the fundamental frequency impedance, digital relays use different types of algorithms such as: Fourier, Sine, Cosine, Walsh, CAL, SAL, Least squares, Kalman, etc. The calculation of the impedance proportional to the electrical distance to the fault, generally must be carried out quickly, this time is around one cycle of the fundamental frequency after the fault onset. The aim of this work is to show the main characteristics of the voltage and current signal filter algorithms so that the protection system can correctly fulfil its function of clearing the fault, within an appropriate period of time.

Keywords: Protections, Algorithms, Power Systems.

INTRODUCCIÓN

Las protecciones de distancia se utilizan, por lo general, en líneas de alta tensión y el objetivo de las mismas es la protección ante fallas de cortocircuito (Blackburn and Domin, 2014; Das, 2018; Pascual, 2002). Su

operaciónse basa en el cálculo de una impedancia proporcional a la longitud de línea entre la ubicación de la protección y el punto de falla,utilizando como datos las tensiones y corrientes como datos las tensiones y corrientes provenientes del sistema eléctrico de potencia. Cuando ocurre una falla de cortocircuito en la línea protegida se produce una variación de la tensión y un incremento de la corriente, por lo que el valor de la impedancia vista por el relevador de la protección se modifica, respecto a la que está calculando en condiciones normales de funcionamiento.

El mencionado relevador (relé) de impedancia, es el dispositivo (integrante del sistema de protección de distancia) que recibe información de los transductores de corriente y tensión, su objeto es el de extraer la información de frecuencia fundamental, necesaria para identificar la impedancia correspondiente a esta frecuencia. Los relevadores pueden utilizar distintos tipos de algoritmos como los de Fourier, Seno, Coseno, Walsh, CAL, SAL, Mínimos cuadrados, Kalman, etc. (Pascual et al., 2006; Pascual et al., 2007; Proakis and Manolakis, 1998; Horton, 1975; Altuve, 1995; Girgis and Brown, 1981), mediante los cuales se obtienen los fasores de corriente y tensión utilizados para el cálculo de la mencionada impedancia.

La impedancia medida en distintos regímenes del sistema eléctrico de potencia y las características de operación de la protección, se pueden representar en el plano complejo de impedancia y determinar si esta actúa de manera correcta frente a una dada condición de falla. El origen de coordenadas en el plano complejo representa el punto de ubicación de la protección que se quiere analizar en el sistema y si la misma posee direccionalidad, se orienta de tal manera que el primer cuadrante coincida con la dirección de operación.

El plano complejo se puede tomar como base para analizar los requerimientos de la protección de impedancia, en función de las características del sistema en el cual estará inserta. Si por ejemplo se tiene un sistema como el que se muestra en la Figura 1 y se considera el análisis de la protección de impedancia ubicada en b, con el objeto de proteger en forma primaria la línea BC, la representación de esta línea sobre el plano complejo de impedancia será como se muestra en la Figura 2.

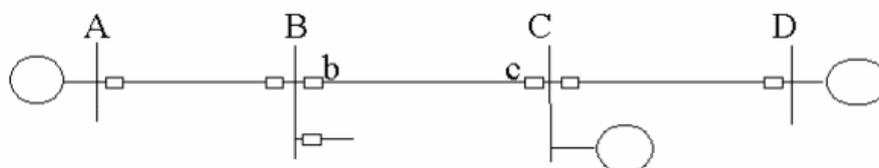


FIGURA 1
Unifilar de un sistema eléctrico de potencia.

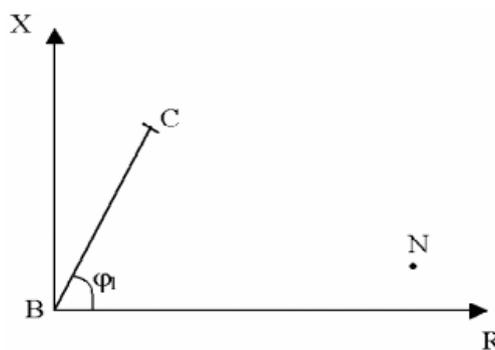


FIGURA 2
Plano complejo de impedancia.

En la Figura 2 el punto B representa el origen de la línea BC y el punto C representa la barra en donde se encuentra el final de dicha línea, ϕ_1 es el ángulo de impedancia de la línea y el punto N muestra una posible ubicación de la impedancia calculada por el relevador cuando el sistema se encuentra trabajando en su régimen normal. Este punto N se moverá teniendo en cuenta las alteraciones que se produzcan en el sistema eléctrico.

Cuando se produce una falla dentro de la línea BC el punto N cambia su posición para ubicarse en la cercanía del segmento BC de la Figura 2, este punto N quedaría sobre este segmento si no existiera la resistencia de falla (en la cual se encuentra incorporada la resistencia de arco). La trayectoria del punto N desde la posición inicial a la posición de falla, depende del tipo de señales de tensión y corriente involucradas en la falla, y del tipo de algoritmos que se utilice para obtener las componentes de frecuencia fundamental de dichas señales.

Para poder lograr selectividad, o sea separar del sistema la menor parte posible que involucre a la falla y poder brindar protección de respaldo a otras partes que sean adyacentes a la que la protección contempla en forma primaria, los relevadores poseen diferentes zonas de actuación y distintas características que se pueden representar en el plano complejo impedancia, algunas de estas características se muestran en las Figuras 3, 4, 5 y 6.

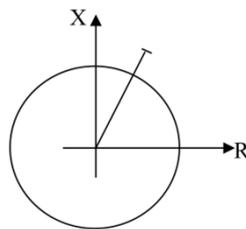


FIGURA 3
Característica tipo Impedancia.

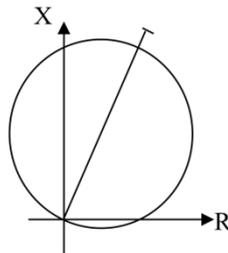


FIGURA 4
Característica tipo mho o admitancia.

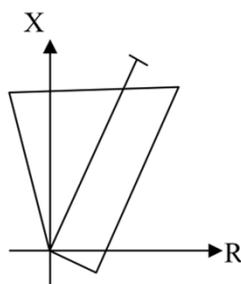


FIGURA 5
Característica tipo elíptica

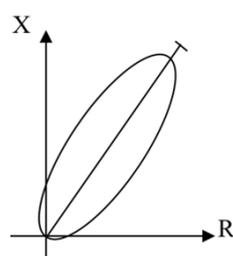


FIGURA 6
Característica cuadrilateral.

Además de las anteriores, existen otras que pueden ser combinación de las mencionadas. En los relevadores digitales es posible lograr una gran flexibilidad en la forma de la característica de operación, de modo que se adapte a las condiciones de la línea protegida y del sistema.

Un relé de impedancia puede tener 3 o 4 zonas de operación, las cuales poseen diferentes tiempos de retardo en el disparo. También se puede dar que tengan diferentes características de operación en las distintas zonas mencionadas, con el objeto de poder tener en cuenta los requerimientos que se necesitan en cada zona, ya sea para la función de protección en forma primaria o de respaldo.

Cuando se elige la característica de un relé de impedancia para poder cumplimentar con el escalonamiento apropiado del sistema de protecciones, se deben tener en cuenta un conjunto de factores, entre los cuales los más destacados son: régimen normal de operación, resistencia de falla y oscilaciones de potencia.

Contemplando lo mencionado, y con el objeto de mostrar las características que deben presentar los algoritmos de filtrado de las señales de tensiones y corrientes para que el sistema de protección pueda cumplir correctamente con su función, en el presente trabajo se analiza el comportamiento de un filtro comúnmente empleado en las protecciones de distancia. Para dicho análisis se somete a los algoritmos de filtrado a una corriente obtenida de un ensayo de potencia sobre un circuito del tipo resistivo-inductivo, en el cual se provocó intencionalmente un cortocircuito buscando que la componente exponencial decreciente de la corriente sea la máxima posible. Cabe mencionar al respecto que en un circuito eléctrico resistivo-inductivo, el valor máximo de la corriente instantánea de cortocircuito, como así también la duración del periodo transitorio de dicha corriente dependerá del ángulo de fase del circuito y del instante de tiempo en el cual se produzca la falla.

DESARROLLO

Con el objeto de determinar la impedancia de frecuencia fundamental de la porción de línea ubicada entre la posición en donde se encuentra la protección y la falla, el relevador se nutre de las señales de tensiones

y corrientes. En el período que sigue inmediatamente después de ocurrida dicha falla, las señales no sólo están compuestas de la componente de frecuencia fundamental del sistema, sino que tienen una serie de alteraciones introducidas por las características propias del sistema eléctrico de potencia que se protege, o bien por los diferentes elementos del esquema de protección tales como los transductores respectivos de tensión y corriente. Estas alteraciones pueden provocar un error en la estimación de las respectivas componentes fundamentales.

Para extraer la componente de frecuencia fundamental de las señales de tensión y corriente es habitual la utilización de filtros digitales de respuesta impulsional finita (FIR). Entendiendo como respuesta impulsional de un sistema, a la respuesta de dicho sistema a un impulso unitario, dado por una señal que siempre vale cero excepto para $n=0$ donde vale uno, (siendo n el número de muestra).

Un filtro de tipo FIR se puede describir a través de una ecuación en diferencias, por lo tanto, si la longitud del filtro es M , la entrada es $x(n)$ y la salida es $y(n)$, la ecuación en diferencias que describe dicho filtro estará dada por la expresión [1].

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} b_k x(n-k) [1]$$

En esta última expresión k es un entero positivo ($k = 0, 1, 2, 3, \dots, M-1$) y b_k representa el conjunto de coeficientes del filtro. Las características de este dependerán de la cantidad de los mencionados coeficientes y de sus respectivos valores.

Un concepto básico importante en el filtrado digital es la ventana de datos. La ecuación [1] permite calcular el valor discreto de la señal filtrada $y(n)$ a partir de las últimas M muestras de la señal de entrada, lo que implica una ventana de datos de M muestras. La ventana es deslizante, ya que cada vez que entra una nueva muestra se descarta la más antigua y se calcula un nuevo valor de la señal de salida.

Teniendo en cuenta el concepto de ventana de datos, y considerando que las señales de prefalla y falla son sinusoidales (producto de la falla sólo se altera la amplitud), es posible decir que cuando la ventana se encuentra completa con muestras del voltaje y corriente de prefalla, los algoritmos arrojan resultados correctos del cálculo de la impedancia, lo mismo ocurre cuando la ventana de datos está completa con muestras de la señal de tensión y corriente de falla. Pero en la situación en la que la ventana de datos se encuentra pasando a través del punto de discontinuidad provocado por la falla, se generan una serie de valores que no representan el camino real de la variación de impedancia al punto de falla, los cuales dependerán de las características del filtro utilizado.

Teniendo presente lo establecido hasta este momento, a través de la expresión [1] es posible obtener la componente de frecuencia fundamental de la señal de entrada. En función de que para el cálculo de la impedancia aparente es necesario conocer el módulo y la fase de las señales de tensión y corriente, se analizará el filtro de Fourier para obtener dichos parámetros, ya que es uno de los filtros comúnmente empleado en los actuales sistemas de protecciones de distancia.

Algoritmo de filtrado digital de Fourier para relevadores de impedancia

El filtro de Fourier tiene respuesta compleja al impulso y calcula la parte real e imaginaria del fasor en forma simultánea. En virtud de que la longitud de ventana juega un papel importante en la respuesta del filtro a ser analizado, para el estudio de su comportamiento se seleccionan cuatro ventanas de diferentes longitudes. Las ventanas seleccionadas son de $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$ y 2 ciclos, correspondientes a la frecuencia fundamental del sistema eléctrico de potencia.

En los filtros de Fourier las componentes real e imaginaria del fasor de frecuencia fundamental (considerando que el número de muestras por ciclo es dado por N_c), estarán dadas por las expresiones siguientes:

Ventana de $\frac{1}{2}$ ciclo:

$$\hat{x}_{or} = \frac{4}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c/2-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right) \quad [2]$$

$$\hat{x}_{oi} = \frac{-4}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c/2-1} x(n) \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right) \quad [3]$$

Ventana de 1 ciclo:

$$\hat{x}_{or} = \frac{2}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right) \quad [4]$$

Ventana de $1 \frac{1}{2}$ ciclo:

$$\hat{x}_{oi} = \frac{-2}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} x(n) \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right) \quad [5]$$

$$\hat{x}_{or} = \frac{4}{3N_c} \sum_{n=0}^{3N_c/2-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right) \quad [6]$$

Ventana de 2 ciclos:

$$\hat{x}_{oi} = \frac{-4}{3N_c} \sum_{n=0}^{3N_c/2-1} x(n) \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right) \quad [7]$$

$$\hat{x}_{or} = \frac{1}{N_c} \sum_{n=0}^{2N_c-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right) \quad [8]$$

En estas últimas expresiones [2-9] se tiene que:

\hat{x}_{or} : Representa el valor pico de la componente real del fasor de frecuencia fundamental de la señal $x(n)$.

\hat{x}_{oi} : Representa el valor pico de la componente imaginaria del fasor de frecuencia fundamental de la señal $x(n)$.

La representación en forma polar del fasor correspondiente estará dada por las expresiones [10] y [11] a través de las cuales se obtiene su módulo y ángulo.

$$|\hat{x}_o| = \sqrt{(\hat{x}_{or})^2 + (\hat{x}_{oi})^2} \quad [10]$$

$$\phi_o = \operatorname{arctg}\left(\frac{\hat{x}_{oi}}{\hat{x}_{or}}\right) \quad [11]$$

El fasor calculado tiene la magnitud correcta, pero gira a medida que la ventana de datos se desplaza con respecto a la señal, a razón de un ángulo α , que es el ángulo de frecuencia fundamental entre muestras, y está dado por la [12].

$$\alpha = 2\pi \frac{F_o}{F_s} [12]$$

En esta última F_s es la frecuencia de muestreo en [muestras/s] y F_o es la frecuencia fundamental de las señales de tensión o corriente en [Hz]. Esta rotación no afecta el valor correcto de impedancia calculado por el algoritmo ya que el mismo se basa en el cociente de dos señales de entrada (tensión y corriente), de manera que el desplazamiento en ángulo se anula debido al mencionado cociente.

Con el objeto de obtener la respuesta en frecuencia del filtro de Fourier para las longitudes de ventanas de datos seleccionadas se considera una frecuencia de muestreo de 1600 muestras/s, ($N_c = 32$ cuando $F_o = 50\text{Hz}$). El hecho de considerar una sola frecuencia de muestreo para realizar el análisis se debe a que ésta incide fundamentalmente sobre la resolución del algoritmo y el hardware, y no produce alteraciones importantes en las características de la respuesta en frecuencia. A medida que la frecuencia de muestreo se incrementa, los algoritmos de filtrado permiten discriminar frecuencias de orden más elevado y de esta manera bajar los requerimientos del filtro *anti-aliasing* (Filtro analógico pasa bajos empleado para minimizar el solapamiento de frecuencias, que se produce cuando la señal muestreada presenta componentes de frecuencias que superan a la mitad de la frecuencia de muestreo). Los gráficos de las mencionadas respuestas en frecuencia son los de las Figuras 7 a 10.

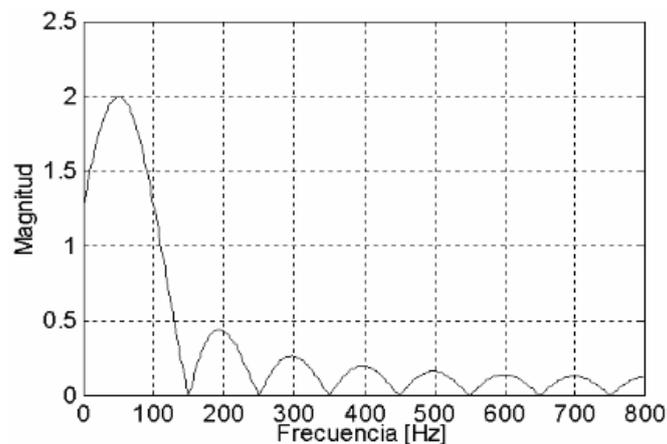


FIGURA 7

Respuesta en frecuencia Filtro de Fourier, ventana de $\frac{1}{2}$ ciclo.

De la Figura 7 se desprende que este tipo de filtros rechaza las armónicas impares, pero no presenta ceros en las armónicas pares ni en frecuencia cero, por tal motivo la capacidad de rechazo de las frecuencias pares y de la componente de continua, se ve disminuida.

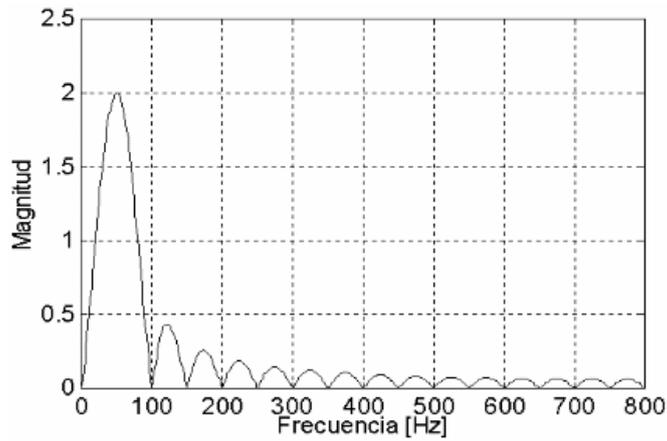


FIGURA 8

Respuesta en frecuencia Filtro de Fourier, ventana de 1 ciclo.

En la Figura 8 se puede observar que la respuesta en frecuencia de este tipo de filtros presenta ceros en los múltiplos enteros de frecuencia fundamental y para la componente de corriente continua, de modo que rechazará todas estas componentes.

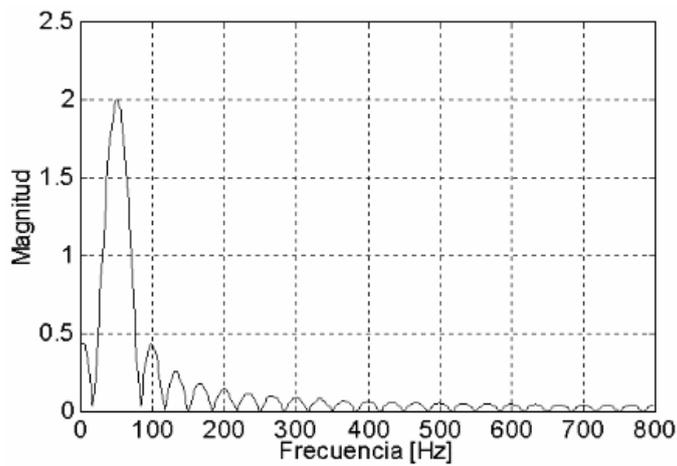


FIGURA 9

Respuesta en frecuencia Filtro de Fourier, ventana de 1 ½ ciclo.

En la Figura 9 correspondiente a ventana de datos de 1 ½ ciclo se aprecia que estos filtros presentan un rechazo para las componentes armónicas impares y para una serie de interarmónicas, pero al no presentar ceros en las armónicas pares ni en frecuencia cero, en este tipo de filtros se disminuye la capacidad de rechazo de estas componentes de la señal.

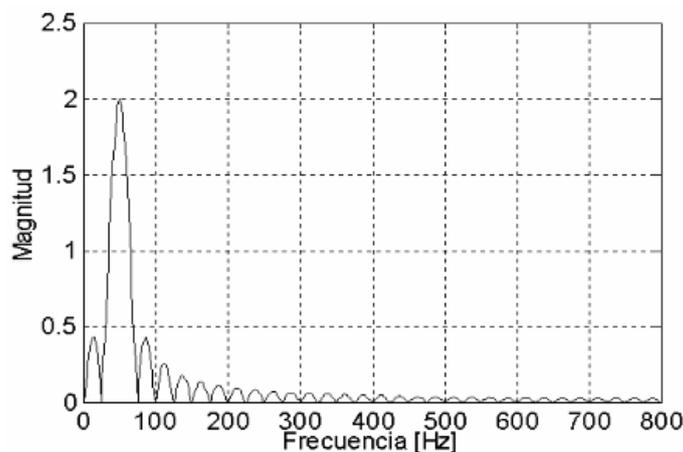


FIGURA 10

Respuesta en frecuencia Filtro de Fourier, ventana de 2 ciclos.

Por último, en la Figura 10 se puede ver que la respuesta en frecuencia de este tipo de filtros presenta ceros en los múltiplos enteros de frecuencia fundamental, para la componente de corriente continua, y en frecuencias interarmónicas también, se aprecia que el lóbulo principal es más estrecho que el correspondiente a las ventanas anteriores, esto implica un mejor rechazo a las componentes subarmónicas.

Análisis transitorio

En el proceso de identificación de una falla, los algoritmos de filtrado digital para relevadores de impedancia presentan un comportamiento transitorio, el cual se refiere a la situación en que la ventana de datos se encuentra pasando a través del punto de discontinuidad provocado por la falla. Durante el transitorio se genera una serie de valores que no representan la variación de impedancia real al punto de falla, ya que para el cálculo de los mismos se utilizan muestras de prefalla y muestras de falla. Los valores obtenidos en esta última condición dependen de las características de los filtros utilizados y de las formas de las señales de tensión y corriente que provienen del sistema eléctrico de potencia a través de los transductores respectivos. Con el objeto de evaluar el comportamiento transitorio se realizan las consideraciones siguientes:

- Al igual que para la respuesta en frecuencia, en este caso se consideran para el análisis ventanas de datos de $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$ y 2 ciclos, frecuencia de muestreo de 1600 muestras/s ($N_c=32$ muestras/ciclo), y se utiliza un filtro *anti-aliasing* de Butterworth de 2° orden, con frecuencia de corte en 400 Hz, el cual se adapta correctamente para esta situación. La conversión análoga-digital se realiza a través de un submuestreo luego de que la señal, con un tiempo entre muestras mucho menor (6.25 microsegundos), atraviesa el filtro *anti-aliasing*.
- En función que se pretende evaluar el efecto transitorio que produce la deformación de la corriente sobre el algoritmo digital, se considera que la onda de tensión no sufre deformación durante el tiempo que transcurre la falla.
- Los valores de tensión y corriente analizados se encuentran en pu (por unidad). Adoptando como base, para el caso de la onda de tensión, el valor de pico de la señal y para el caso de la señal de corriente, el valor pico de la componente simétrica de la corriente de falla.

En la Figura 11 se muestran las señales utilizadas para observar el efecto que puede provocar la deformación de la corriente sobre el cálculo de la impedancia aparente cuando se utilizan los algoritmos digitales

analizados. En la citada Figura se aprecia la forma de onda típica de la corriente, producto de un cortocircuito en un sistema de características resistivas-inductivas.

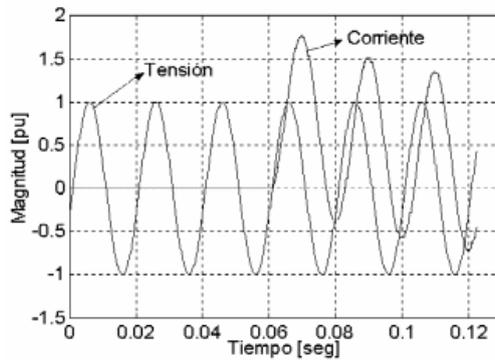


FIGURA 11

Señales de tensión y corriente utilizadas para el análisis.

En las Figuras 12 a 15 se pueden observar las trayectorias de la impedancia aparente, sobre el plano complejo de impedancia, cuando se procesan las señales mostradas en las Figura 11. El número colocado en los puntos de estas figuras representa el número de cálculo que arroja el algoritmo desde que la ventana de datos ingresa al punto de discontinuidad observado en la corriente (Fig. 11), de modo que el punto con denominación 1 corresponde al primer punto obtenido a través del algoritmo cuando suceda la falla de cortocircuito. Es de notar que la impedancia de falla para este análisis es $(0.34+j0.94)$ pu, y que la corriente de prefalla es nula. En las Figuras siguientes los puntos representados con (o), corresponden a los calculados por el algoritmo durante el primer ciclo, luego de haberse producido la falla, y los puntos representados con (*) corresponden a los calculados durante el segundo ciclo de falla.

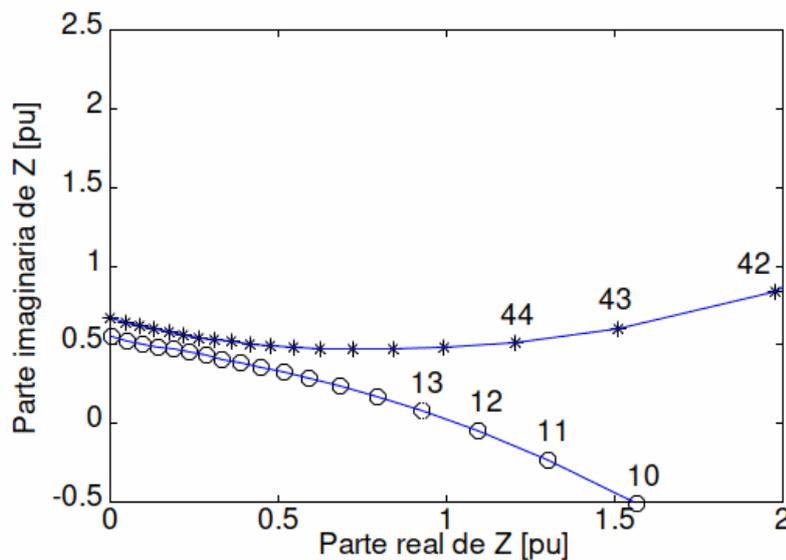


FIG. 12.

Respuesta transitoria, ventana de $\frac{1}{2}$ ciclo.

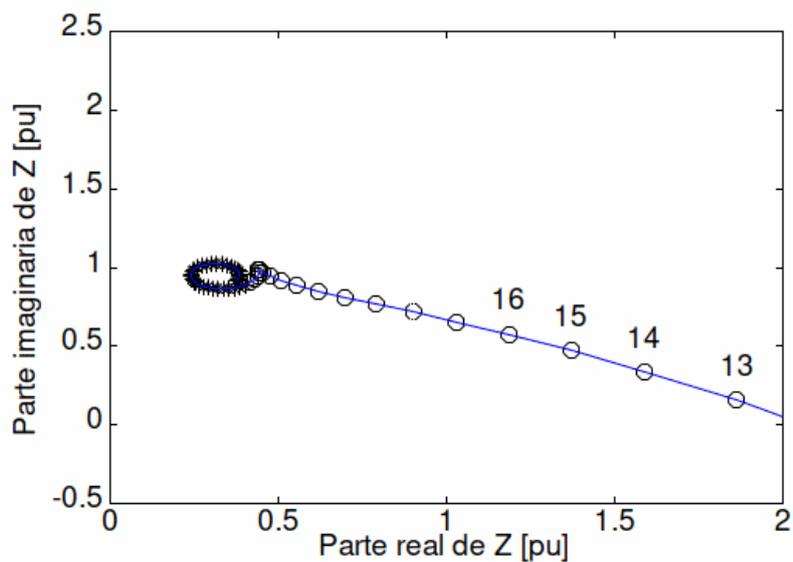


FIG. 13.
Respuesta transitoria, ventana de 1 ciclo.

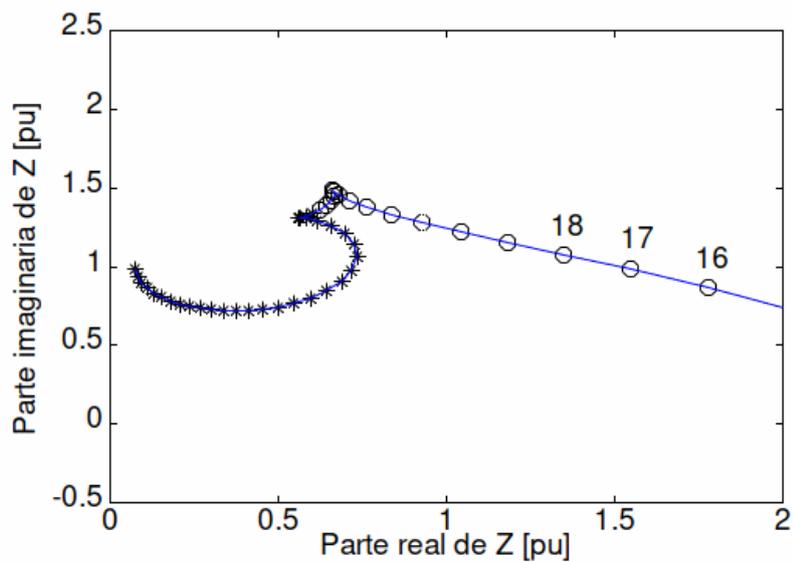


FIG. 14.
Respuesta transitoria, ventana de 1 ½ ciclo.

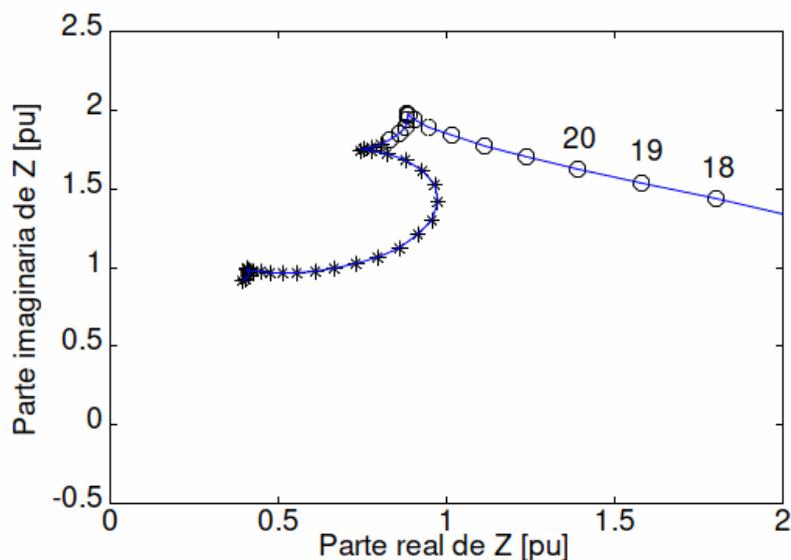


FIG. 15.
Respuesta transitoria, ventana de 2 ciclos.

Del análisis realizado sobre las gráficas anteriores se desprende que, de los algoritmos presentados, el que mejor se comporta ante fallas que presentan corrientes que contienen una exponencial decreciente, es el algoritmo de ventanas de datos de un ciclo, ya que este converge con mayor rapidez y precisión al valor de la impedancia de falla, permitiendo que la decisión de disparo del relevador pueda tomarse en menor tiempo.

Conclusiones

En los sistemas de protecciones de distancia se busca que la determinación de la impedancia proporcional a la distancia eléctrica a la falla se realice con el mayor grado de exactitud posible y en forma rápida, razón por la cual en la determinación de las características principales de los algoritmos para protecciones de distancia es importante considerar las respuestas estables y transitorias de los filtros utilizados.

Una situación a tener en cuenta es que a simple vista cuanto más pequeña sea la ventana de datos, la misma pasa más rápido de la condición de prefalla a la condición de falla lo que permitiría que el filtro se llene con datos puros de falla en menor tiempo y así poder tomar la decisión de disparo más rápido y aumentar de esta manera la velocidad de operación. Lo dicho es cierto si las señales de entrada al relevador son puramente sinusoidales, tanto en la condición de prefalla como en la condición de falla. En realidad, las señales de tensiones y corrientes que ingresan a los relevadores, originadas durante un cortocircuito, están contaminadas con distintos tipos de ruidos, y la capacidad de rechazarlos que tienen los algoritmos analizados depende de la longitud de la ventana de datos. Por lo que el algoritmo que posea una ventana corta de datos cruza rápidamente el punto de discontinuidad, pero la respuesta en el estado de falla puede demorarse mucho para converger a los valores correctos debido al ruido presente (como puede ser la presencia de una componente exponencial decreciente en la corriente).

Observando las respuestas en frecuencia de los filtros es posible expresar que, considerando la condición estable, la ventana de 1 ciclo cumple con los requerimientos indispensables para ser utilizada en relevadores de impedancia y la ventana de 2 ciclos presenta características mejores que la anteriormente mencionada de 1 ciclo. Desde el punto de vista transitorio, a través del cual se evalúa de qué forma transita la ventana del algoritmo desde la condición de prefalla a la condición de falla, se observa que la ventana que converge con mayor rapidez al valor de la impedancia de falla es la de 1 ciclo.

Teniendo en cuenta lo dicho y considerando la velocidad de operación en el cálculo de la impedancia, o sea disminuir el retardo de tiempo en la respuesta final, es posible afirmar que la ventana de un ciclo es la más apropiada para los sistemas de protección de distancia cuando se utilizan filtros de Fourier.

REFERENCIAS

- Altuve H. et al. (1995). *Evaluación del filtro digital de mínimos cuadrados para su aplicación en protección de distancia*. Memorias del V Seminario Técnico de Protección y Control, Curitiba, Paraná, Brasil. 28 de agosto al 1 de septiembre de 1995.
- Blackburn J. L. and Domin J. T. (2014). *Protective Relaying Principles and Applications, Fourth Edition*. United States of America. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Das J. C. (2018). *Power Systems Protective Relaying, Vol. (4)*. United States of America. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Girgis A. A. and Brown Grover. (1981). *Application of Kalman Filtering in Computer Relaying*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No 7, pp. 3387-3397.
- Horton J. W., (1975). *The use of Walsh functions for high speed digital relaying*. IEEE Publication No. 75CH1034-8 PWR, Paper No. A75 582 7, pp. 1-9, San Francisco, IEEE PES Summer Meeting.
- Pascual H. O. (2002). *Trasductores de Corriente, su Interacción con las Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia*. Tesis Doctoral, La Plata, Argentina, Dto. de Electrotecnia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.
- Pascual H. O. et al., (2006). *Análisis e implementación de un sistema de medición de impedancia en tiempo real utilizando LabView*. IEEE 4º Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico CIINDET 06. Cuernavaca, Morelos, México. ISBN: 968-9152-00-9.
- Pascual H. O. et al., (2007). *Impedance Measurement in Real Time, Employing Sine and Cosine Filters Simultaneously, Incorporating Spline Functions for Interpolation*. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference CERMA 2007, (pp: 633-638). Cuernavaca, Morelos, México. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2974-7.
- Proakis John G. and Manolakis Dimitris G., (1998). *Digital Signal Processing*. United States of America. Pearson Education Limited, Fourth Edition.