

Sobre el autor



L. Rouco Rodríguez, J. A. Torres Santana, J. M. García Muñoz y J. Sánchez Paz

Luis Rouco Rodríguez, Dr. Ingeniero Industrial, Profesor Propio Ordinario de la E.T.S. de Ingeniería (ICAI).

José Antonio Torres Santana, Ingeniero Industrial, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

José Manuel García Muñoz, Ingeniero Industrial, Endesa.

Javier Sánchez Paz, Ingeniero Industrial, Endesa.

Resumen del artículo

Este artículo discute alternativas en la protección frente a faltas a tierra en líneas de media tensión de distribución en redes con neutro puesto a tierra a través de reactancia en una instalación concreta analizada ampliamente en dos artículos precedentes. La primera alternativa se refiere a la factibilidad de la utilización de la direccionalidad homopolar que las modernas protecciones instaladas ofrecen. La segunda consiste pasar de una red de neutro puesto a tierra a través de reactancia a una red de neutro aislado.

Palabras

clave

Redes de media tensión, faltas a tierra, reactancia de puesta a tierra, protecciones de sobreintensidad direccional homopolar, redes de neutro aislado.

This paper studies alternatives for protecting against ground faults medium voltage distribution grids which neutral is connected to ground through grounding reactors. The proposed alternatives are studied in case of an installation that was studied in two previous papers. The first alternative is use of directional overcurrent protections. The second alternative is to leave ungrounded the grid neutral.

Keywords

Medium voltage grids, ground faults, directional neutral overcurrent protections, isolated neutral

Alternativas en la protección frente a faltas a tierra en líneas de media tensión de distribución en redes con neutro puesto a tierra a través de reactancia

13 julio, 2016 4 agosto, 2016

Introducción

Este artículo discute alternativas en la protección frente a faltas a tierra en líneas de media tensión de distribución en redes con neutro puesto a tierra a través de reactancia.

En un primer artículo [1] se describieron problemas encontrados en la protección de frente a faltas a tierra de las líneas conectadas a una de las dos barras de una subestación transformadora 66 kV/20 kV estando el neutro de la red de 20 kV puesto a tierra a través de reactancia limitadora de la corriente de falta monofásica franca a 500 A.

En un segundo artículo [2] se detalló un procedimiento de ajuste de protecciones de sobreintensidad de neutro (elementos instantáneo 50N y temporizado 51N) en redes de media tensión de distribución con el neutro puesto a tierra a través de reactancia que resuelve los problemas de selectividad encontrados en el caso de estudio considerado en el artículo [1].

Este artículo explora dos alternativas en la protección frente a faltas a tierra en líneas de media tensión de distribución en redes con neutro puesto a tierra a través de reactancia.

La primera alternativa se refiere a la factibilidad de la utilización de la direccionalidad homopolar que las modernas protecciones instaladas ofrecen [3]. La segunda consiste en pasar de una red de neutro puesto a tierra a través de reactancia a una red de neutro aislado.

El problema de la protección frente a faltas a tierra en redes de distribución no es nuevo. Desde hace más de veinticinco años ha recibido la atención de la industria y de la universidad (ver [4]–[6]). Se siguen explorando las diferentes opciones de puesta a tierra del neutro con sistemas de protección específicos (neutro puesto a tierra a través de reactancia, a través de resistencia, aislado y resonante). Las opciones exploradas en este artículo tienen en cuenta las características concretas de una instalación.

Red de estudio

El método propuesto se va a aplicar a las cinco líneas de 20 kV asociadas a una de las dos barras (barras 1) de una subestación 66 kV/20kV. Cada barra de 20 kV de la subestación está alimentada por un transformador YNd 66 kV/20 kV de 40 MVA y una tensión de cortocircuito del 14.6%. La corriente de cortocircuito trifásico en las barras de 66 kV de la subestación es de 8500 A. El neutro de la red de 20 kV está puesto a tierra a través de una reactancia zig-zag conectada en barras que limita la corriente de falta monofásica a 500 A (cuya reactancia a la secuencia homopolar es de 76 Ω).

Tabla 1: Características de las líneas del caso de estudio.

Línea	Tipo	Capacidad (μF)	Corriente capacitiva (A)
L1	Subterránea	2.784	33.3
L2	Subterránea	1.8	21.6
L5	Mixta	11.205	134.1
L6	Subterránea	7.13	85.4
L9	Mixta	3.718	44.5

Las características de las líneas asociadas a las barras 1 de la subestación están detalladas en la Tabla 1. Se detallan el tipo de línea y la capacidad en μF , la corriente capacitiva en A (a la tensión nominal).

Protección direccional homopolar en redes con neutro puesto a tierra a través de reactancia

Se pasa a continuación a estudiar la aplicabilidad de relés de sobrecorriente direccional que utilicen tensión y corriente homopolar. La Figura 1 muestra el circuito equivalente a la secuencia homopolar de una red con neutro puesto a tierra a través de reactancia con separación de una línea en falta y varias líneas sanas.

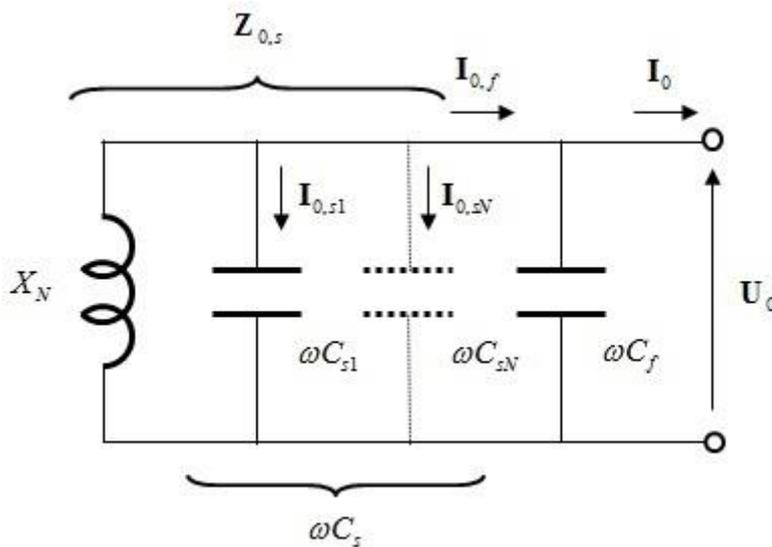


Figura 1: Circuito equivalente a la secuencia homopolar de una red con el neutro puesto a tierra a través de reactancia.

En la línea en falta, el ángulo de la relación entre la tensión y corriente homopolar depende del carácter inductivo o capacitivo de la impedancia de secuencia homopolar:

$$\begin{aligned}
 U_0 &= -Z_0 I_0 = -Z_0 \frac{1}{Z_{0,s}} I_{0,s} = -Z_{0,s} I_{0,s} \\
 &= -\frac{1}{\frac{1}{Z_N} + \frac{1}{Z_{C,s}}} I_{0,s} = -\frac{1}{jX_N + \frac{1}{-jX_{C,s}}} I_{0,s} \\
 &= -\frac{jX_N(-jX_{C,s})}{j(X_N - X_{C,s})} I_{0,s} = j \frac{X_N X_{C,s}}{X_N - X_{C,s}} I_{0,s}
 \end{aligned}$$

Siendo $X_{C,s}$ la reactancia capacitiva de todas las líneas sanas. Esto quiere decir que si $X_N > X_{C,s}$ la fase será 90° . Si por el contrario, $X_N < X_{C,s}$ entonces la fase será de -90° .

En la línea sana, el ángulo entre la tensión y corriente homopolar es -90° ya que la impedancia es capacitiva:

$$\frac{U_0}{I_{0,si}} = Z_{c,si} = -jX_{c,si}$$

La Figura 2 muestra de forma gráfica los resultados anteriores. También se aprecia que solamente cuando $X_N > X_{c,s}$ la protección direccional homopolar asegura la selectividad de la protección.

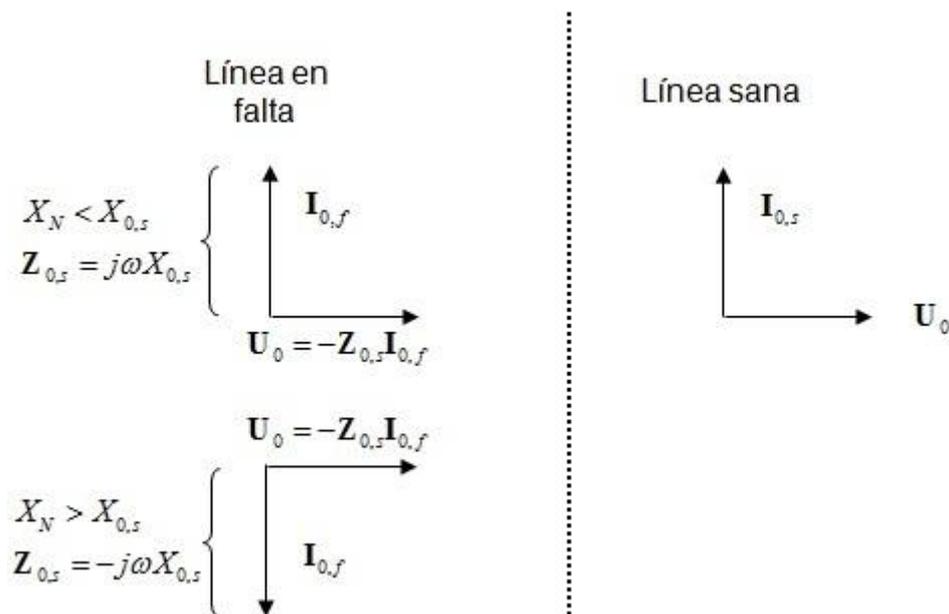


Figura 2: Diagramas vectoriales de la línea en falta y de las líneas sanas en una red con el neutro puesto a tierra a través de reactancia.

La Tabla 2 detalla la reactancia capacitiva de las líneas sanas. En todas las líneas la reactancia de puesta a tierra es inferior a la reactancia capacitiva de las líneas sanas. Por tanto la fase entre corriente y tensión homopolar en la línea en falta es la misma que la fase entre la corriente y la tensión homopolar en la línea sana. En otras palabras, las líneas de la subestación considerada no presentan direccionalidad homopolar y, por tanto, no se puede utilizar la direccionalidad homopolar para detectar la línea en falta.

Tabla 2: Reactancia capacitiva restante de las líneas.

Línea en falta	Reactancia capacitiva de las líneas sanas (Ω)
L1	133
L2	128
L5	206
L6	163
L9	139

En redes de neutro puesto a tierra a través de reactancia con líneas subterráneas se suele utilizar una reactancia que limita la corriente de falta a 1000 A que utilizarían una reactancia de puesta a tierra cuya reactancia homopolar fuera 38 Ω . Si se utilizara esa reactancia, la direccionalidad tampoco estaría asegurada.

Protección direccional homopolar en redes con neutro aislado

Si la red tiene el neutro aislado entonces se puede aprovechar siempre la direccionalidad de la corriente homopolar para identificar la línea en falta. En efecto, la Figura 3 muestra el circuito equivalente a la secuencia homopolar de una red con dos líneas: una en falta y otra sana. Los diagramas vectoriales de tensión y corriente homopolar de las líneas sana y en falta de la Figura 3 confirmar la direccionalidad homopolar.

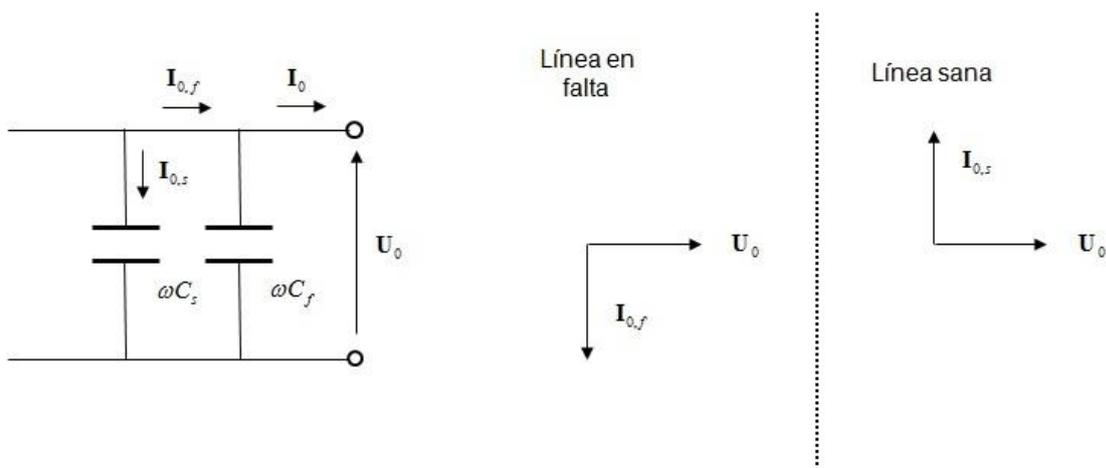


Figura 3: Circuito equivalente a la secuencia homopolar y diagramas vectoriales de la línea en falta y de la línea sana en una red con el neutro aislado.

El paso de una red de neutro puesto a tierra a través de reactancia limitadora de la corriente de falta a una red de neutro aislado es un cambio profundo del estado de una red de distribución. Como se ha visto hasta ahora ofrece la gran ventaja de asegurar la selectividad de la actuación de las protecciones. Sin embargo, siempre se ha asociado una red de neutro aislado a una red en la que las tensiones en las fases sanas tras una falta monofásica franca llegaban a la tensión compuesta mientras que en una red de neutro puesto a tierra las tensiones en las fases sanas se mantenía en las tensiones simples. Si bien las redes de media tensión de distribución suelen estar diseñadas con aislamiento pleno, suscita preocupación por deterioro del aislamiento por contaminación de los aisladores la sobretensión en la fase sana provoque una faltas adicionales.

En este punto es conveniente recordar que los valores de las tensiones en las fases sanas en caso de falta monofásica franca en cualquier caso dependen de la relación entre la reactancia total de secuencia homopolar y la reactancia total de secuencia directa tal y como muestra la Figura 4 (ver por ejemplo [7]).

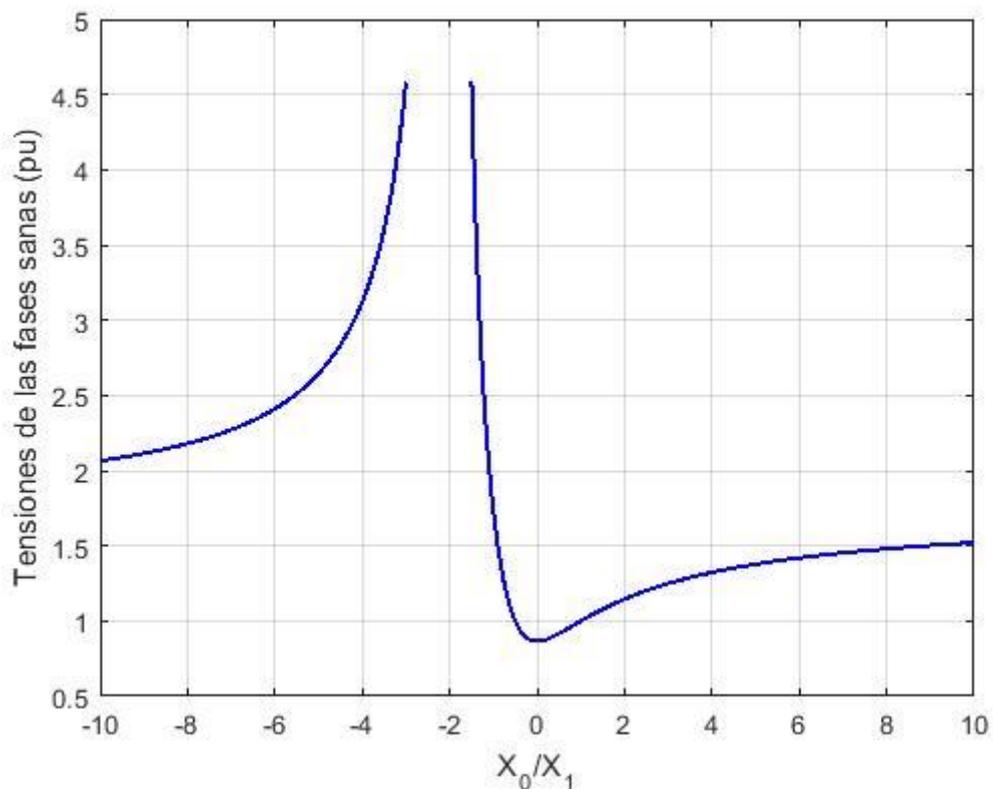


Figura 4: Tensiones en las fases sanas (en magnitudes unitarias de la tensión simple) en función de la relación entre las reactancias de secuencia homopolar y de secuencia directa.

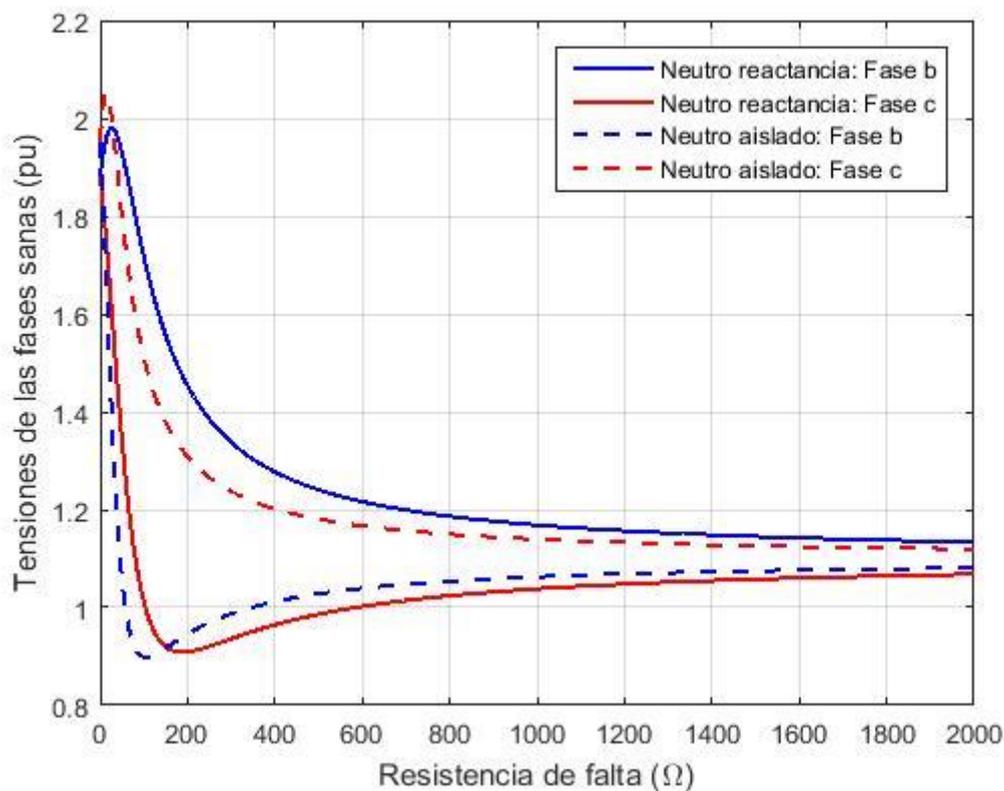


Figura 5: Tensiones en las fases sanas (en magnitudes unitarias de la tensión simple) en caso de red de neutro puesto a tierra a través de reactancia y aislado en función de la resistencia de falta.

Merece la pena, por tanto, comparar las tensiones en las fases sanas en caso de falta monofásica en caso de que el neutro de esté puesto a tierra a través de reactancia y en caso de que el neutro esté aislado al variar la resistencia de falta. La Figura 5 muestra como no hay diferencias significativas entre las tensiones en las fases sanas en ambas formas de puesta a tierra del neutro. Ello es debido a que la corriente capacitiva de las líneas conectadas a la subestación es muy elevada.

La Figura 6 compara las corrientes de falta monofásica en función de la resistencia de falta en caso de neutro puesto a tierra a través de reactancia y de neutro aislado en función de la resistencia de falta. Llama la atención que, en contra de lo que sería de esperar, la corriente de falta franca con neutro aislado sea superior a la corriente de falta franca con neutro puesto a tierra a través de reactancia. Ello sugiere la revisión de la arquitectura de la red en el sentido de que las líneas con corrientes capacitivas tan elevadas sean separadas en barras independientes, en la medida de lo posible.

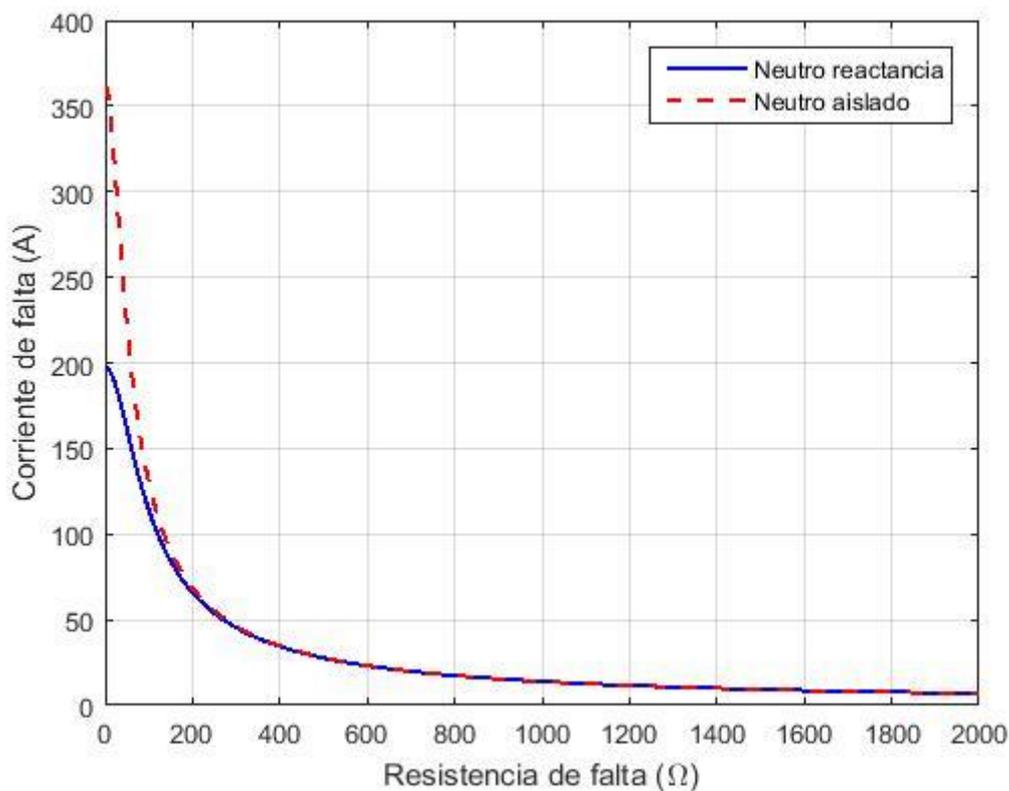


Figura 6: Corriente de falta a tierra en función de la resistencia de falta en caso de red de neutro puesto a tierra a través de reactancia y aislado neutro aislado.

Conclusiones

Este artículo ha explorado dos alternativas en la protección frente a faltas a tierra en líneas de media tensión de distribución en redes con neutro puesto a tierra a través de reactancia en una instalación concreta analizada ampliamente en dos artículos precedentes ([1], [2]).

La primera alternativa se refiere a la factibilidad de la utilización de la direccionalidad homopolar que las modernas protecciones instaladas ofrecen. Se ha encontrado que dada la reactancia capacitiva de las líneas comparada con la reactancia de puesta a tierra, el ángulo de la corriente homopolar con relación a la tensión homopolar es igual en las líneas sanas y en las líneas en falta. Por tanto, no se puede aprovechar la función de direccionalidad para asegurar la selectividad del despeje de la falta.

La segunda consiste pasar de una red de neutro puesto a tierra a través de reactancia a una red de neutro aislado. Si la red tiene el neutro aislado, el ángulo de la corriente homopolar con relación a la tensión homopolar es distinto en las líneas sanas y en las líneas en falta.

Por tanto, se puede aprovechar la función de direccionalidad para asegurar la selectividad del despeje de la falta. Un análisis simplificado indica que cuando se produce una falta a tierra en una red de neutro aislado, las tensiones en las fases sanas llega a ser la tensión compuesta mientras que en una red de neutro a tierra la tensión en las fases sanas sólo es la tensión simple. Sin embargo, un análisis detallado ha puesto de manifiesto que en el caso ejemplo que nos ocupa no hay diferencias significativas en las tensiones en las fases sanas en redes de neutro puesto a través de reactancia y en redes de neutro aislado.

En resumen, pasar esta red de neutro puesto a tierra a través de reactancia a neutro aislado y utilizar protecciones direccionales de neutro en las líneas ofrecería un sistema de protección sensible y selectivo frente a faltas a tierra sin afectar significativamente los requisitos de aislamiento (sobretensiones en las fases sanas en caso de falta). El sistema de protección basado en protecciones direccionales de neutro no sólo es sensible y selectivo sino que además es robusto frente a cambios en la red debidos a la variación de su extensión o modificación de su topología.

Referencias

1. Rouco Rodríguez, J. A. Torres Santana, J. M. García Muñoz, J. Sánchez Paz, “Problemas en la protección frente a faltas monofásicas en líneas de media tensión de distribución en redes con neutro puesto a tierra a través de reactancia”, Anales de Mecánica y Electricidad, Volumen LXXXIX, Fascículo VI, Noviembre-Diciembre, 2012, páginas 49-55, disponible en http://www.revista-anales.es/web/n_17/seccion_8.html
2. Rouco Rodríguez, J. A. Torres Santana, J. M. García Muñoz, J. Sánchez Paz, “Ajuste de protecciones frente a faltas monofásicas en líneas de media tensión de distribución en redes con neutro puesto a tierra a través de reactancia”, Anales de Mecánica y Electricidad, Volumen XCI, Fascículo II, abril 2014, pp. 18-21, disponible en http://www.revista-anales.es/web/n_25/seccion_9.html
3. General Electric Power Management, “Sistema Integrado de Protección y Control DDS”, Instrucciones GEK 106163A.
4. Parra Terrón, “Análisis comparativo del tratamiento del neutro en redes de distribución en media tensión, estudio de los problemas asociados y búsqueda de soluciones óptimas”, Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, Junio 1984.

5. Vargas, T. Gómez, “El neutro aislado en redes de MT de distribución y ventajas asociadas”, *Energía-Revista de Ingeniería Energética*. Julio/Agosto 1991, páginas 77-81.
6. Zamora, J.A. Mazón, F. Antepara, M. Pühringer, J. R. Saenz, “Experiences of neutral resonant system: Implantation in Gornitz Substation”, 17th CIRED International Conference on Electricity and Exhibition, Barcelona, 12-15 May 2003, Sesión, Artículo 5.
7. Crespo, “Sobretensiones en la redes de alta tensión”, Asinel, Madrid, 1975.