



Ingeniería Energética

ISSN: 1815-5901

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.Cujae

Pérez Baluja, Osmel; Torres Breffe, Orllys Ernesto; Pérez Hermoso, Rolando
Efecto de inductancia mutua en protecciones de líneas
paralelas de transmisión. Defecto de sus soluciones
Ingeniería Energética, vol. XLI, núm. 2, e1712, 2020, Mayo-Agosto
Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.Cujae

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329164306006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

Efecto de la inductancia mutua en las protecciones de líneas paralelas. El defecto de sus soluciones

Effect of mutual inductance in the transmission parallel line protections. The defect of their solutions

Osmel Pérez Baluja^{1,*}; Orlys Ernesto Torres Breffe¹; Rolando Pérez Hermoso²

¹Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana, Cuba.

²Empresa Eléctrica de La Habana, La Habana, Cuba.

*Autor de correspondencia: operezb@electrica.cujae.edu.cu

Recibido: 11 de julio de 2019

Aprobado: 17 de diciembre de 2019

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional



RESUMEN/ABSTRACT

En este artículo, se realiza un estudio de los principales errores que introduce la inducción mutua de secuencia cero en el trabajo de las protecciones de sobrecorriente direccional y distancia de tierra respectivamente (67N y 21N), cuando estas se encuentran protegiendo líneas de transmisión en paralelo. Para entender este fenómeno y analizar posibles soluciones, se modela el mismo en DIGsilent Power y se muestra el efecto negativo del fenómeno en el correcto funcionamiento de estas protecciones. Las posibles soluciones a los problemas que introduce la inducción mutua de secuencia cero en el trabajo de las protecciones (67N y 21N) son analizadas; notando en la mayoría de los casos, que las soluciones no resultan efectivas del todo, ya que estas no eliminan completamente todas las dificultades que el fenómeno de inducción mutua de secuencia cero introduce al trabajo de las protecciones de líneas paralelas y su costo es por lo general elevado.

Palabras clave: inducción mutua, falla monofásica a tierra, protección de distancia, protección de sobrecorriente direccional.

In this article, a study of the main errors that introduces mutual zero sequence induction in the work of directional overcurrent and ground distance protections (67N and 21N), when they are protecting parallel transmission lines, is carried out. To understand this phenomenon and analyze possible solutions, it is modeled in DIGsilent Power and the negative effect of the phenomenon on the proper functioning of these protections is shown. The possible solutions to the problems introduced by the zero sequence mutual induction in the work of the protections (67N and 21N) are analyzed; noticing in most cases, that the solutions are not effective at all, since these do not completely eliminate all the difficulties that the phenomenon of mutual induction of zero sequence introduces to the work of parallel line protections and its cost is therefore high overall.

Keywords: mutual induction, single-phase ground fault, distance protection, directional overcurrent protection.

INTRODUCCIÓN

Las líneas de transmisión transportan a grandes distancias la energía eléctrica, por lo que no es raro verlas en casi todos los lugares de un país. Visto de este modo se puede afirmar que las líneas de transmisión constituyen un elemento de suma importancia en cualquier SEP. Éstas se pueden clasificar por su tipo de configuración en líneas radiales, anilladas o paralelas. En lo que respecta a las líneas en paralelo cada día es más común utilizar este tipo de configuración ya que ésta refuerza los enlaces y al mismo tiempo este tipo de configuración brinda una mayor confiabilidad al sistema eléctrico y resulta más económica ya que ahorra inversiones en estructura. Proteger este tipo de líneas frente a cortocircuitos es un aspecto complejo para los ingenieros eléctricos debido a diferentes causas [1].

Como citar este artículo:

Osmel Pérez Baluja; Orlys Ernesto Torres Breffe; Lenyer Padrón. Efecto de la inductancia mutua en las protecciones de líneas paralelas. El defecto de sus soluciones. 2020, vol. 41, n.2, mayo/agosto. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>

En líneas de transmisión se pueden utilizar numerosas funciones de protección y en la medida de su importancia se utilizan hasta dos relés de protección con todas las funciones necesarias [2]. Estas protecciones pueden ser diferenciales de línea (87L código Ansi), de distancia de fase y tierra (21 y 21N código Ansi), de sobrecorriente direccional de fase y tierra (67 y 67N código Ansi) por solo mencionar algunas. Cuando existen líneas en paralelo se presenta el fenómeno de la inducción mutua, que en función de la separación entre circuitos este puede variar, si la distancia entre circuitos disminuye el fenómeno se manifestará en mayor medida y viceversa. Esto complejiza el ajuste de las protecciones de las líneas de transmisión, en particular para los relés de protección de tierra. Este tema ha sido explorado con muchos esfuerzos en la literatura técnica, pero todavía sigue siendo una tarea difícil de asimilar por los ingenieros dedicados al trabajo de protecciones [3].

En los sistemas eléctricos actuales las protecciones de distancia y sobrecorriente direccional son propicias para respaldar a las protecciones principales de una línea de transmisión. Aun cuando su función es de respaldo es necesario que su operación sea sumamente confiable, la protección de distancia de tierra (21N) y sobrecorriente direccional de tierra (67N) son muy sensibles a la inducción mutua de secuencia cero que se presenta en las líneas que comparten la misma traza o el mismo derecho de vía, que por lo general se denominan líneas en paralelo. Por otro lado las fallas monofásicas a tierra tienen el mayor porcentaje de ocurrencia (80-90%) y cuando existe este tipo de falla la corriente de secuencia cero es elevada y el fenómeno se manifiesta en gran medida.

La protección direccional de sobrecorriente es usada donde sea necesario proteger al sistema ante averías, donde la corriente de falla podría circular en una u otra dirección a través de un elemento del sistema. La inducción mutua de secuencia cero provoca que las variables de polarización ($-3U_0$ y $3I_0$) de la protección de sobrecorriente direccional de tierra (67N) cambien significativamente, lo que se refleja en operación innecesaria y en equivocación del sentido de la corriente de falla.

La protección de distancia (función 21 y 21N del código ANSI) es muy utilizada en redes de transmisión ya que tienen la característica de funcionar sobre la base de la impedancia que miden sus órganos de medición. Estos relés deben efectuar mediciones de tensión y corriente teniendo como ventaja que sus ajustes son bastante estables y dependen poco de las variaciones de los niveles de cortocircuito.

En el caso de los relés de distancia de tierra (21N) la inducción mutua de secuencia cero provoca que los órganos de medición de la protección equivoquen la distancia que existe del relé a la falla que es proporcional a la impedancia de secuencia positiva de la línea para esa distancia. Lo que provoca falsas operaciones en algunos casos y en otros la no operación cuando es necesario extinguir la falla monofásica a tierra. Estos aspectos son más conocidos en la literatura como bajo alcance y sobrealcance de la protección de distancia [1, 3].

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo teórico experimental se evaluó el funcionamiento de protecciones 67N y 21N que protegen líneas de transmisión en paralelo y unen dos áreas de generación de un SEP típico. En un caso se analiza el funcionamiento de ambas sin acoplamiento mutuo de secuencia cero y en otro caso en presencia de acoplamiento mutuo de secuencia cero. La protección de fase, ya sea de distancia o sobrecorriente direccional, no se ve afectada por el acoplamiento mutuo de secuencia cero ya que la impedancia mutua de secuencia positiva y negativa son muy pequeña, pero la protección de las fallas a tierra sufre un error de medición, debido a que la impedancia mutua de secuencia cero Z_{0M} tiene por lo general un alto valor, comprendido entre el 50% y el 70% de la impedancia de secuencia cero propia de la línea [1-5].

La transposición de líneas en estos casos no elimina el acoplamiento mutuo de secuencia cero [1, 3], solo elimina el desequilibrio natural. Es evidente que se pueden tener altas tensiones inducidas de secuencia cero entre circuitos paralelos y complejizar el ajuste y funcionamiento de las protecciones.

El error de medición se produce debido a que la corriente de tierra, $3I_0$, en la línea con falla induce una tensión en la línea sin falla.

Existen varias configuraciones que pueden presentar acoplamiento mutuo de secuencia cero y presentar las dificultades antes mencionadas. En este trabajo se profundiza el análisis en la configuración de líneas paralelas mutuamente acopladas.

La tensión inducida de secuencia cero entre líneas se define en función de la Z_{0M} y la corriente I_0 como se muestra en la ecuación (1).

$$V_{0M} = I_0 \cdot Z_{0M} \quad (1)$$

Es importante entender que el efecto en función del sentido de las corrientes en las líneas puede manifestarse de múltiples formas, en un caso la tensión inducida (V_{0M}) en una línea puede elevar la tensión (V_0) de esa línea y en otro caso disminuirla.

Esquema de estudio

En la figura 1, se muestra la configuración típica de líneas de transmisión en paralelo. Este tipo de arreglo se define como redes con fuentes de secuencia positiva y de secuencia cero en común. En este caso, ambas líneas terminan en una barra común en ambos extremos de las líneas y poseen fuentes comunes de corrientes de secuencia cero por cada lado. Además, se tiene una falla monofásica a tierra a una distancia h de la barra B1 de la línea A.

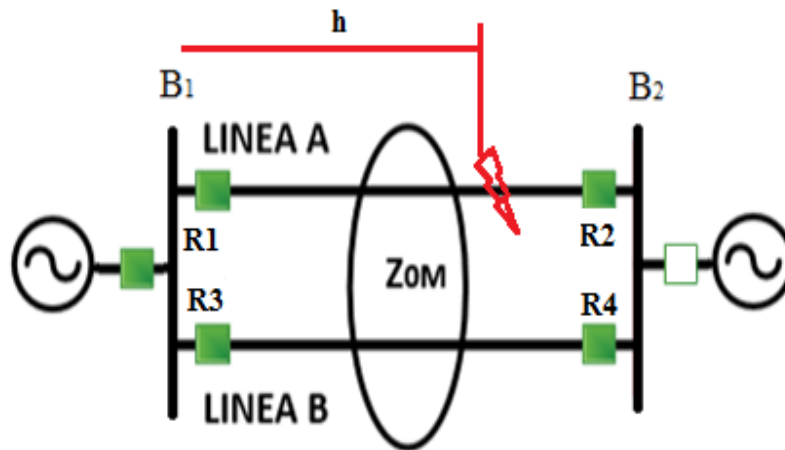


Fig. 1. Circuito en presencia de acoplamiento mutuo de secuencia cero entre las líneas paralelas A y B respectivamente y funciones 67N y 21N instaladas en R1, R2, R3, R4.

Protección de Distancia de Tierra (21N)

Para detectar el cortocircuito mostrado en la figura 1, la protección de distancia de tierra (21N) se basa en el mismo principio de operación que las protecciones de distancia de fase midiendo tensión y corriente para detectar a qué distancia ha ocurrido la falla en función de un valor de impedancia de secuencia positiva.

El relé de distancia de tierra ubicado en R1 (figura 1), debe compensar el efecto del acoplamiento mutuo de secuencia cero para poder efectuar correctas mediciones, esto se logra añadiendo factores de compensación al cálculo como se muestra en la ecuación (2).

$$V_{R1} = hZ_{LA} \cdot (I_{R1} + Kca \cdot I_{GAO} + Kma \cdot I_{GBO}) \quad (2)$$

Despejando Z_{LA} se llega a la ecuación (3):

$$hZ_{LA} = \frac{V_{R1}}{(I_{R1} + Kca \cdot I_{GAO} + Kma \cdot I_{GB0})} \quad (3)$$

Donde:

$$Kca = \frac{Z_{A0} - Z_A}{3 \cdot Z_{A1}}$$

$$Kma = \frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{A1}}$$

Los factores Kca y Kma son constantes complejas [1, 3, 6], mientras que I_{GA0} y I_{GB0} son las corrientes residuales por el relé R1 y R3 respectivamente. El error que se presenta producto al acoplamiento mutuo es proporcional a la corriente I_{GB0} y a la Z_{0M} incluida en el factor Kma. Los factores de compensación dependen de la impedancia y a su vez la impedancia depende de la distancia (h). Por lo que estos factores serán distintos para cada posición de la falla. Además, es necesaria la medición de la corriente de secuencia cero por la línea paralela acoplada magnéticamente (I_{GB0}).

Protección de Sobrecorriente direccional de tierra (67N)

En el caso de la protección de sobrecorriente direccional de tierra estas pueden utilizar como polarización la medición de la tensión y la corriente de secuencia cero en la ubicación del relé o también puede utilizarse como referencia para la protección la medición de otra corriente de secuencia cero siempre que se asegure que con el cambio de la posición del cortocircuito respecto a la ubicación del relé la corriente tomada para polarización no cambie de sentido [2, 3, 4, 6]. La ecuación (4), representa el par de la protección de sobrecorriente direccional de tierra en R1 polarizado con tensión de secuencia cero. [1]

$$T32V = |3V_0| \cdot |3I_0| \cos[\angle 310 + ZLA0] \quad (4)$$

El signo de T32V es positivo para fallas hacia delante (forward) y negativo para fallas hacia atrás (reverse). En condiciones de cortocircuito a tierra el sentido de operación del relé que utiliza mediciones de secuencia cero mide el ángulo de la impedancia de secuencia cero por detrás del relé con signo cambiado [1-6]. La tensión de secuencia cero se obtiene del secundario de los TPs conectados en conexión Y-delta rota y la corriente del neutro de los relés de fase [3-6]. Como el flujo de potencia de secuencia cero es de la falla hacia las fuentes se hace necesario invertir las conexiones de la bobina de tensión del relé de manera que a éste le llegue $-3U_{a0}$ y $3I_{a0}$. En la figura 2, se muestra el diagrama fasorial para una falla monofásica en el sentido de operación de la protección suponiendo el mismo ángulo para las impedancias de secuencias alrededor de 60° .

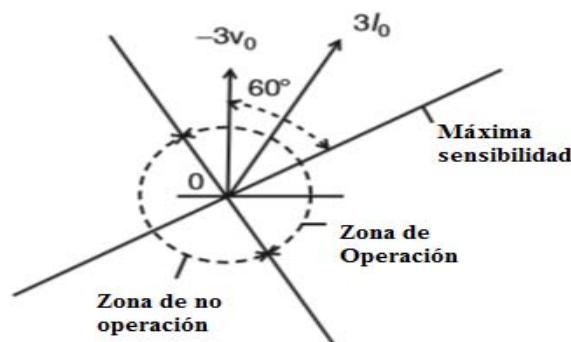


Fig. 2. Diagrama fasorial para una falla monofásica en el sentido de operación [6].

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para realizar la modelación matemática del fenómeno en líneas paralelas como se muestra en la figura 3, se utilizaron líneas tipo torre de 110 kV con geometrías definidas y 10 km de longitud. Las torres poseen conductores (AC 240/32) y cables protectores (TK 10) [7]. Los sistemas equivalentes en las barras poseen 1500 MVA de cortocircuito y la separación entre torres es de 20 metros.

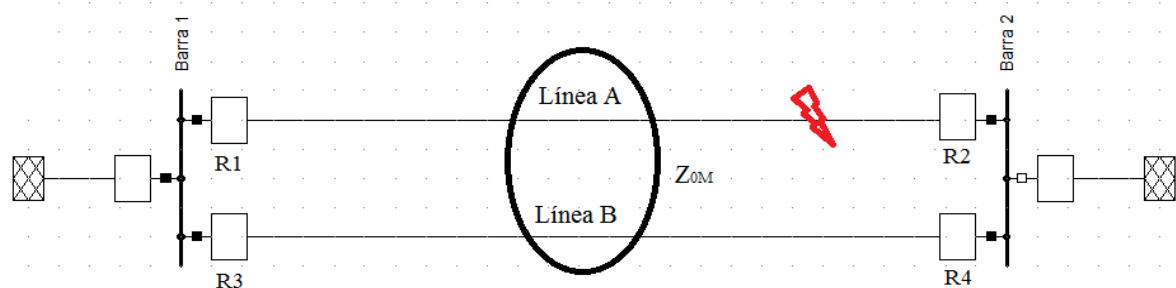


Fig. 3. Sistema a 110 kV en ambiente de DigSilent Power Factory, con acoplamiento mutuo entre las líneas paralelas A y B, con relés 21N y 67N en R1, R2, R3 y R4.

El relé de distancia de tierra 21N instalado en R1 está ajustado en su primera zona de operación para disparar fallas hasta un 80 % de la longitud total de la línea [2-8]. Si se simula la falla monofásica a tierra al 80 % de la longitud de la línea A (figura 3), el relé de distancia ubicado en R1 debe operar. En la figura 4, se muestran los diagramas X-R que utiliza el relé para detectar el cortocircuito en un caso sin considerar el acoplamiento mutuo y en otro caso considerándolo. El valor de la impedancia mutua ($Z_{0M}=0,338+j0,5236 \Omega$) representa un 57,4 % de la impedancia de secuencia cero propia de la línea.

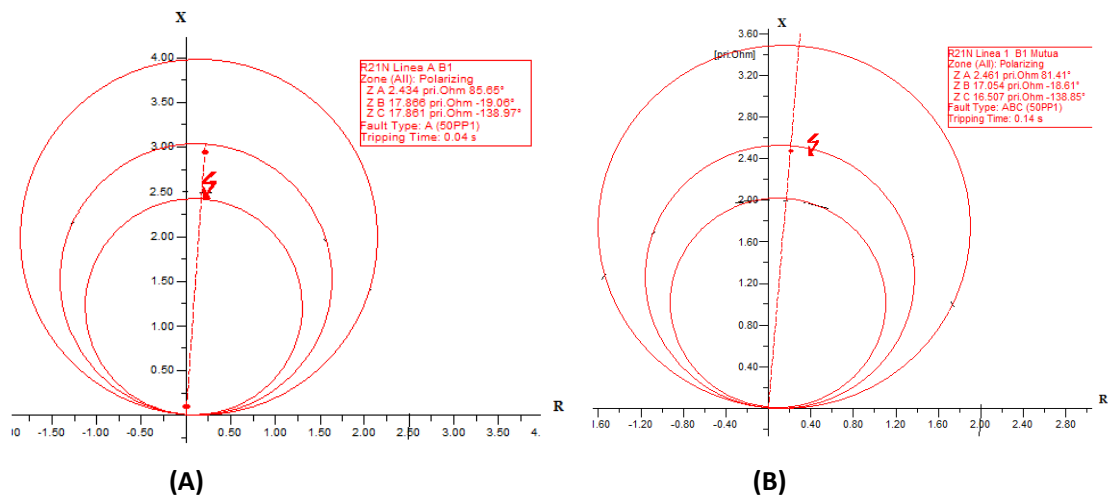


Fig. 4. Diagramas X-R para la detección de fallas del relé R1, (A) sin inducción mutua y (B) con inducción mutua.

Al analizar estos resultados mostrados en la figura 4, se puede afirmar que la inducción mutua de secuencia cero modifica severamente la medición del relé R1 (21N), lo que complejiza su funcionamiento ya que en este caso provoca que la función de protección espere demasiado tiempo para limpiar la falla. Este error se conoce como un bajo alcance de la protección para la zona 1 de operación [3-10]. Existen otros casos más severos donde la protección puede sobrealcanzar lo que implica que la zona 1 de operación vea fallas más allá del 80 % de la línea [3, 6, 11]. Para el caso de la función de sobrecorriente direccional de tierra (67N), esta debe ver la falla representada en la figura 3, en ambas cabezas de la línea y operar de manera correcta sacando la línea de servicio si la falla es en su interior. Si no se considera la inducción mutua las protecciones de la línea A operan de manera correcta para extinguir el cortocircuito representado en la figura 3, [9,10].

Cuando se presenta el acoplamiento mutuo de secuencia cero, el fasor de referencia $-3U_0$ puede variar producto a que a la línea llegan tensiones inducidas de secuencia cero y ya este fasor no sería invariable [3]. Lo que puede provocar que la protección no opere como se describió anteriormente. En la figura 5, se muestran los tiempos de operación de las protecciones 67N instaladas en R1, R2, R3 y R4 ante la falla monofásica a tierra al 80 % de la línea A.

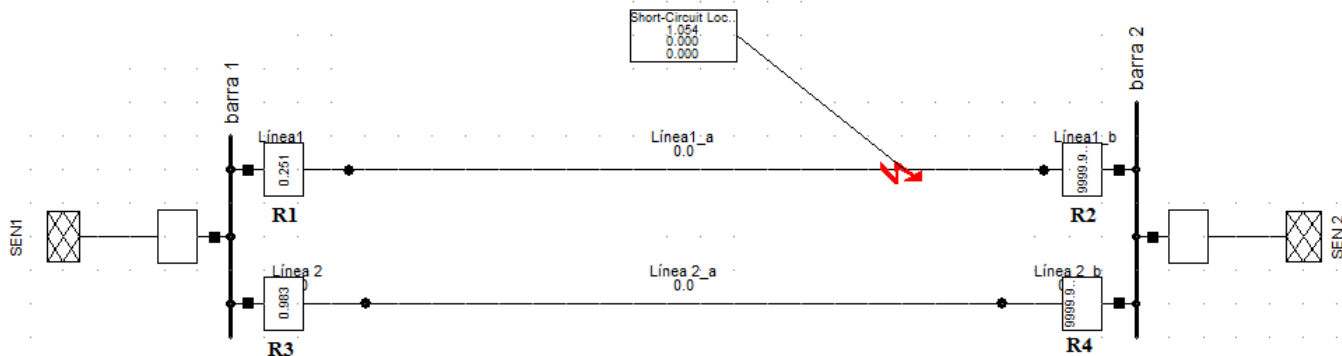


Fig. 5. Tiempos de operación de las funciones de sobrecorriente direccional de tierra (67N) instaladas en R1, R2, R3, R4.

En la figura 5, se puede observar que R1 ve la falla en su dirección y opera de forma correcta. Pero en R2 no se observa disparo alguno lo que no es correcto ya que la falla está en su dirección de operación, esto provoca que la función 67N instalada en R3 opere para respaldarla en un tiempo mayor. Todo esto provoca inestabilidad en el servicio eléctrico y se observa como producto al fenómeno una protección de una línea sana tuvo que operar.

Soluciones para eliminar los errores que introduce el acoplamiento mutuo de secuencia cero

Al presentarse los problemas descritos anteriormente, muchos ingenieros han estudiado el fenómeno y han propuesto soluciones que no siempre erradican los efectos negativos del fenómeno.

Una primera alternativa para eliminar el error que introduce el acoplamiento mutuo de secuencia cero fue compensar la medición con la corriente de secuencia cero que circula por la línea paralela [1, 3, 12]. En la mayoría de los relés, con función 21N, se tiene acceso a una entrada de corriente adicional para medir la corriente de secuencia cero de la línea paralela. La figura 6, ilustra las conexiones necesarias para medir las corrientes de la línea paralela.

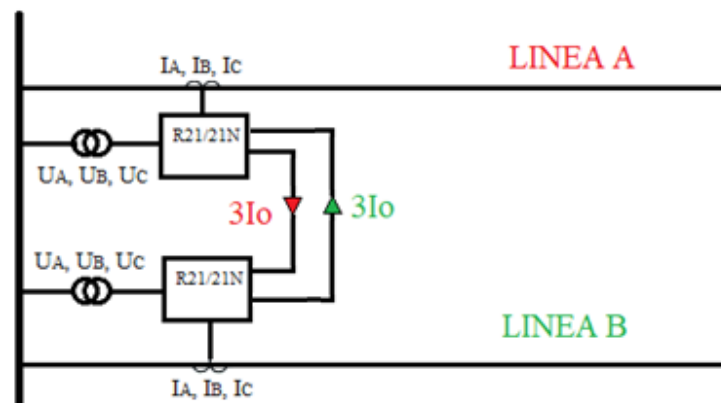


Fig. 6. Esquema de conexión para medir la corriente de secuencia cero entre líneas paralelas.

Esta solución sería ideal pero un primer tropiezo lo presenta el cableado de los transformadores de corriente (TCs) ya que cablearlos sería mucho más complejo. Puede ser que los relés de protección de la línea paralela estén uno al lado del otro y que el cableado requiera algunos recorridos cortos, pero también es posible que los relés estén físicamente alejados unos de otros ya que estarían en el panel de una bahía de subestación.

Un largo recorrido para llevar la corriente I_0 al relé que protege la línea paralela implica una mayor carga para los TC por fallas a tierra, lo que aumenta la probabilidad de saturación [3].

Además, hay casos en los que más de dos líneas salen de una subestación en caminos paralelos. Las estructuras de cuatro circuitos no son desconocidas, y el cableado de las corrientes de secuencia cero para la compensación del relé de distancia es una tarea compleja que involucra varios transformadores auxiliares. También el cableado no sería efectivo cuando no se pueda medir la corriente de secuencia cero de la línea paralela, como se muestra en la figura 7, y no se compensaría el error que introduce la inducción mutua.

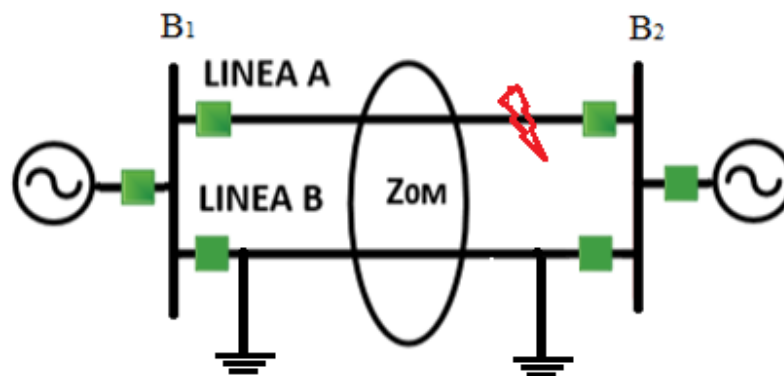


Fig. 7. Circuito en presencia de acoplamiento mutuo de secuencia cero entre las líneas paralelas A y B con la línea B en mantenimiento.

En esta condición es imposible medir la corriente que circula por la línea B y no sería posible compensar el error que introduce la inducción mutua de secuencia cero. Muchos investigadores consideran que la complicación de cableado adicional es costosa y no justificable [1, 12]. Por otro lado, hay muchos otros ingenieros que no consideran que el cableado sea un problema y el costo asociado. Con las nuevas técnicas de comunicación, es posible una solución alternativa para intercambiar la corriente $3I_0$ entre los relés de protección. Pero aún no se resolverían todos los problemas que introduce la Z_{0M} . Para el caso de las protecciones de sobrecorriente direccional (67N) una solución bastante efectiva es polarizar sus órganos de medición con señales de secuencia negativa ya que estos no son sensibles a la inducción mutua de secuencia cero [3, 6]. Pero aun así en ocasiones se tienen falsas operaciones cuando las fuentes de secuencia positiva y secuencia cero por ambos extremos de las líneas paralelas no son comunes [3].

CONCLUSIONES

De manera general con lo analizado en este trabajo se puede concluir que:

- Con el aumento de la población mundial y el creciente consumo de energía los sistemas eléctricos de potencia crecerán y será muy común encontrar líneas en paralelo total o parcialmente por su significado económico.
- La inducción mutua de secuencia positiva y negativa son despreciables mientras que la de secuencia cero afecta las mediciones de los elementos de protección de tierra.
- La protección de distancia 21N es muy sensible al fenómeno de inducción mutua de secuencia cero, ya que mide incorrectamente la distancia del relé a la falla cuando existe acoplamiento sobre las líneas protegidas por esta función (21N).
- La protección de distancia 21N puede presentar errores de bajoalcance y sobrealcance cuando es afectada por la inducción mutua de secuencia cero.
- La Protección de sobrecorriente direccional de tierra 67N puede equivocar la dirección de la corriente de cortocircuito cuando la línea que protege esta acoplada magnéticamente con otra.
- Medir la corriente de secuencia cero por la línea paralela, no siempre es efectivo para eliminar el error en las protecciones de distancia de tierra 21N y resulta una solución costosa.
- Polarizar con secuencia negativa los órganos de sobrecorriente direccional de tierra (67N) no es efectivo en todas las configuraciones de líneas paralelas.

REFERENCIAS

- [1] W. A. Elmore. "Zero Sequence Mutual Effects on Ground Distance Relays and Fault Locators". Proceedings of the 19th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 1992, p. 3. [Consultado octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN039812150/Zero-Sequence-Mutual-Effects-On-Ground-Distance/>
- [2] SEL-421. "Instruction Manual". Date Code 20060814. [Online]. [Consultado octubre de 2017]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwi5-6vR8LDmAhXF1FkKHVtfAyAQFjAAegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.eiseverywhere.com%2Ffile_uploads%2F295ee8080559528101d572ea13c4a3eb_5_SEL_421_IM_20111215.pdf&usg=AOvVaw3OcZeRtYbM4QzRHRJHDjtJ
- [3] ANDERSON, P.M. "Power System Protection". IEEE Press and McGraw-Hill, New York. 2010, ed. 10, p.1305, ISBN 0-7803-3427-2. [Consultado octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.lehmanns.de/shop/technik/2559355-9780780334274-power-system-protection>
- [4] CALERO, Fernando. "Mutual Impedance in Parallel Lines – Protective Relaying and Fault Location Considerations". Originally presented at the 34th Annual Western Protective Relay Conference, October 2007, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Revised edition released May 2015. [Consultado octubre de 2017]. Disponible en: https://www.academia.edu/4888466/Mutual_Impedance_in_Parallel_Lines_Protective_Relaying_and_Fault_Location_Considerations
- [5] SAMIRA Seghir. "Electrical Short Circuit Arc Effect on the Distance Protection in the Transmission Line". University of Mohamed-Boudiaf, 2019. https://www.researchgate.net/publication/332879918_Electrical_Short_Circuit_Arc_Effect_on_the_Distance_Protection_in_the_Transmission_Line
- [6] AZADE Brahman, Dilan Novosad. "Analytical Approach to Study the Impacts of Mutual Coupling on Transmission Lines Protection Systems", Dallas Texas, Estados Unidos, 2018. https://www.researchgate.net/publication/331595188_Analytical_Approach_to_Study_the_Impacts_of_Mutual_Coupling_on_Transmission_Lines_Protection_Systems
- [7] LLAMO, Héctor Silvio. "Sistemas Eléctricos I. Capítulo 3" "Parámetros eléctricos de las líneas de transporte de energía eléctrica", Julio 2018. [Consultado octubre de 2017]. Disponible en: <ftp://ftp.electrica.cujae.edu.cu/Clases/CRD/4to/Sistema/Sistema%20I/18%2019%20%20Alumnos%20Sist%20El%20C3%A9ct%20I/Sistemas%20El%20C3%A9ctricos%20I%20PDF%20Texto/Sistemas%20I%20Cap%203%20Par%20C3%A1metros%20El%20C3%A9ctricos%20de%20las%20LT.pdf>
- [8] Technical Manual MiCOM P44x Numerical Distance Protection, Edited June 2013, V D3.0. Disponible en https://download.schneiderelectric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Micom_P44x_TechnicalManual.pdf&p_Doc_Ref=micom_p44x_technicalmanual
- [9] WECC, "Protection System Misoperations Report and Mitigation Approaches," January 2017. [online]. [Consultado octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.nerc.com/pa/Stand/Reliability%20Standards/PRC-004-4.pdf>
- [10] M. Majidi y M. Etezadi-Amoli. "Effects of mutual coupling on ground relay operation", Reno Nevada, Estados Unidos, 2018. https://www.researchgate.net/publication/327191170_Effect_of_Mutual_Coupling_on_Ground_Relay_Operation
- [11] C. Holt and M. J. Thompson. "Practical considerations when protecting mutually coupled lines" 69th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE), College Station, TX, April 2016. [Consultado octubre de 2017]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7914905>
- [12] M. Ibrahim, "Disturbance Analysis for Power Systems, "Mitigation of Mutual Coupling Effects on the Reach of Ground Distance Relays Protecting a 345 kV System," , Spokane, WA, October 2012. 1. Disponible en: <https://books.google.com/cu/books?id=c4oa3sygbXYC&pg=PA544&lpg=PA544&dq=Mitigation+of+Mutual+Coupling+Effects+on+the+Reach+of+Ground+Distance+Relays+Protecting+a+345+kV+System&source=bl&ots=sQwUph4ofE&sig=ACfU3U0Rv5WV1a1gQk955MtvuE1Ghhsow&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj9o8vyor3mAhVvFkKHAlWBXQQ6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=Mitigation%20of%20Mutual%20Coupling%20Effects%20on%20the%20Reach%20of%20Ground%20Distance%20Relays%20Protecting%20a%20345%20kV%20System&f=false>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Osmel Pérez Baluja: <http://orcid.org/0000-0003-1857-9594>

Conformación de la idea de la investigación, Recopilación de datos necesarios, modelación matemática, diseño y redacción del artículo. Participó en el análisis de los resultados , redacción del borrador del artículo , la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Orlys Ernesto Torres Breffe: <http://orcid.org/0000-0001-7781-2611>

Conformación de la idea de la investigación, Recopilación de datos necesarios, modelación matemática, diseño y redacción del artículo. Participó en el análisis de los resultados , redacción del borrador del artículo , la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Rolando Pérez Hermoso: <https://orcid.org/0000-0003-0254-3386>

Consideraciones prácticas sobre el fenómeno, recopilación de datos necesarios, modelación matemática, diseño y redacción del artículo. Participó en el análisis de los resultados , redacción del borrador del artículo , la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.