

Estudio de una falla en una línea de doble circuito mediante la impedancia de acoplamiento mutuo

Moritz Pikisch, OMICRON electronics

Rainer Luxenburger, OMICRON electronics

Resumen

En este estudio se investiga una falla de línea de doble circuito con disparo no selectivo causado por la parametrización del relé basada en un conocimiento inexacto o insuficiente de las impedancias de línea. El análisis de la falla se basa en las impedancias de línea medidas y en las pruebas basadas en la simulación y/o en el sistema mediante RelaySimTest. Se adoptó y documentó un procedimiento apropiado para medir las impedancias de las líneas de doble circuito de una manera mínimamente invasiva.

Palabras clave

líneas de doble circuito, acoplamiento mutuo, protección de distancia, medición de impedancia de línea, selectividad, RelaySimTest, pruebas basadas en el sistema

1 Introducción

La parametrización de un relé de distancia requiere un conocimiento preciso de la impedancia de secuencia positiva $Z1$ y de la impedancia homopolar $Z0$ de la línea protegida. Si, además, los circuitos son paralelos (o parcialmente paralelos) entre sí, también se debe considerar la impedancia de acoplamiento homopolar $Z0M$.

El relé de protección de distancia, que en este documento se disparó con una falla a tierra de forma no selectiva, fue parametrizado únicamente en base a los valores estimados de $Z1$ y $Z0$. Sin embargo, como la impedancia de acoplamiento mutuo $Z0M$ de esta línea de doble circuito es significativa, también debe tenerse en cuenta. En el capítulo 2 se describen los detalles de la falla.

El capítulo 3 trata sobre la medición de las impedancias de línea $Z1$, $Z0$ y $Z0M$ utilizando el método convencional.

El capítulo 4 compara la simulación realizada en RelaySimTest con el registro de fallas.

En el capítulo 5 se estudian los procedimientos para la investigación mediante RelaySimTest basada en el sistema del esquema de protección.

En el capítulo 6 se describe la medición mínimamente invasiva de $Z1$, $Z0$ y $Z0M$ como alternativa al método de medición descrito en el capítulo 3.

2 Descripción de la falla

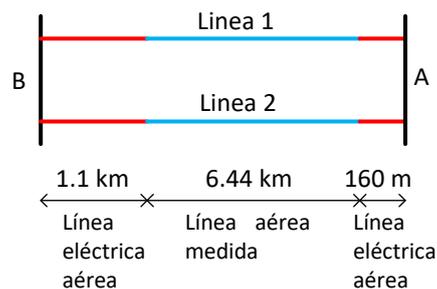


Figura 1: Topología de la línea de doble circuito

La línea de doble circuito tratada en este estudio consiste en dos circuitos eléctricos idénticos "Línea 1" y "Línea 2" (figura 1) y conecta las dos barras A y B. Forma parte de una red de distribución urbana sólidamente conectada a tierra con una tensión nominal de 110 kV.

La barra A es una subestación aislada por gas con una longitud de cable de 160 m hasta el pórtico de la línea aérea. La barra B de enfrente tiene un tramo de cable de 1,1 km de longitud. Las líneas aéreas están situadas en los mismos polos, lo que explica por qué existe una impedancia de acoplamiento homopolar $Z0M$ significativa.



Figura 2: Estado de conmutación 1: $\Delta t1 = 53ms$

La falla mostrada en la figura 2 ocurrió en el cable del pórtico de la línea aérea en la fase L1 de la línea 2. La causó el hecho de que se serró el cable durante un acceso no autorizado al pórtico de la línea aérea. La única alimentación de la falla fue la barra A mediante tres transformadores de 220kV/110kV. Uno de estos tres transformadores quedó destruido debido a la falla, ya que no estaba diseñado para soportar la corriente de falla.

La mayor parte de la corriente de falla fluyó al principio directamente a través del alimentador de la línea 2. Sólo una pequeña parte fluyó por la línea 1 y la barra B. La distancia y la protección diferencial de CB1 y CB2 dispararon los interruptores de potencia CB1 y CB2 correctamente. El interruptor CB1 fue el primero en abrirse, 53 ms después del inicio de la falla.

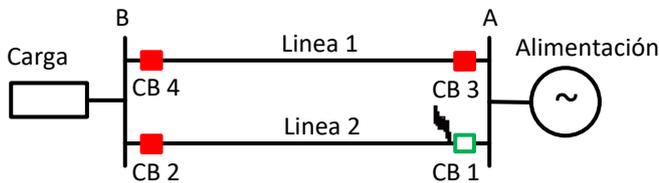


Figura 3: Estado de conmutación 2: $\Delta t_2 = 20\text{ms}$

La falla se alimenta entonces desde la línea 1 y la barra B. El CB2 aún no se abre, ya que su tiempo de disparo es un poco más largo que el del CB1. Este estado de conmutación duró sólo 20 ms, o un ciclo a 50 Hz.

El estado de conmutación 2 provocó que el relé de distancia del CB3, un Siemens 7SA513, detectara la falla en la zona 1 y se disparara inmediatamente. La causa de este sobrealcance se explica en detalle en la sección 4.

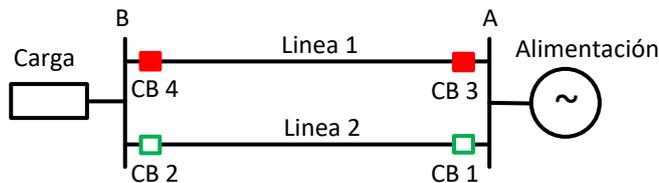


Figura 4: Estado de conmutación 3: $\Delta t_3 = 50\text{ms}$

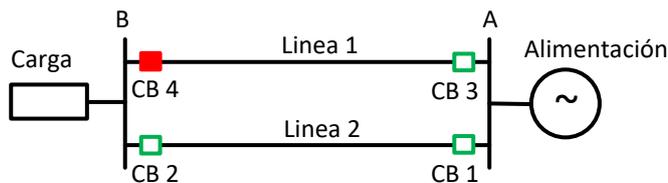


Figura 5: Estado de conmutación 4:

Una vez abierto el interruptor CB2, como se muestra en la figura 4, el CB3 se abre poco después (figura 5) como reacción a una orden de disparo incorrecta en el estado de conmutación 2. Como resultado de ello, ya no se suministra la carga en la barra B.

Aunque este hecho está fuera del alcance de este estudio, cabe mencionar que cuando se intentó volver a conectar la carga en la barra B utilizando una de las dos líneas, se conectó la línea 2 afectada por la falla. Antes de realizar esta conexión, el flujo de carga se optimizó y se adaptó a las nuevas condiciones de la red. Como consecuencia de la nueva configuración de la alimentación, se desconectó una línea de salida adicional desde la barra A (a otra barra, C), ya que la

protección de distancia en la barra C de esta línea había detectado la falla mediante la configuración incorrecta de los parámetros correspondientes a la impedancia en la zona 1 y se disparó instantáneamente. Por lo tanto, en ese momento se desconectaron tres líneas en lugar de una.

3 Medición de la impedancia de línea

Al medir Z_1 , Z_0 y Z_{0M} , ambos circuitos de la línea de doble circuito se desenergizaron al mismo tiempo para poder utilizar la plantilla de prueba oficial para el dispositivo de medición CP CU1; los resultados se indican en la tabla 1. [1] y [2] sugieren un procedimiento alternativo mínimamente invasivo que permite determinar Z_1 , Z_0 y Z_{0M} con un solo circuito fuera de servicio. Este procedimiento también se adoptó durante la investigación de esta falla. El capítulo 6 facilita detalles sobre esta medición.

La medición se realizó en el pórtico de la línea aérea de la barra A (la línea en la barra B estaba conectada a tierra). Se consideraron pues para la medición la línea aérea y el cable de la barra B, ignorándose el tramo corto del cable desde el pórtico de la línea aérea hasta la subestación de la línea A.

Tabla 1: Resultados de la medición de la impedancia de línea

	Z_1 (R/X)	Z_0 (R/X)	Z_{0M} (R / X)
Medido en Ω	0,849 2,776	2,131 9,132	1,144 5,779
Estimado en Ω	0,94 2,78	3,07 17,2	no presente
Error en %	10,85 0,13	44,71 88,29	no presente

Como la impedancia de secuencia positiva puede estimarse con un alto grado de precisión, su desviación del valor medido es insignificante. El error en Z_0 estimado, por otro lado, es significativo. Además, la falla es positiva, lo que tiende a dar lugar a una protección de sobrealcance. No había ninguna estimación de la impedancia de acoplamiento que pudiera compararse con el valor medido.

4 Simulación de la falla en Relay-SimTest

4.1 Simulación de la falla

La simulación de las tensiones, corrientes e impedancias que se produjeron durante la falla y que son necesarias para el análisis se llevó a cabo utilizando el software RelaySimTest. En primer lugar, se introdujo en el software la línea de doble circuito con alimentación por un solo lado (ver la figura 6):

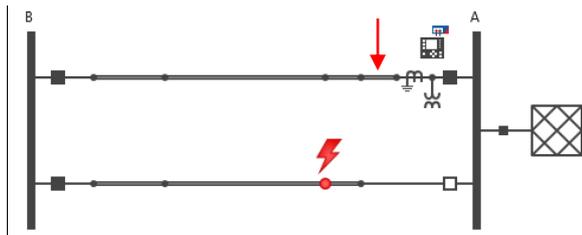


Figura 6: Introducción de la línea en RelaySimTest

La línea de doble circuito representada en la figura 6 contiene los 3 tramos de cada uno de los dos circuitos, que se parametrizaron de la siguiente manera:

- Cable de la barra A
 - Z1' y Z0' son idénticos a los valores del cable de la barra B
- Línea aérea
 - Z1 y Z0 representan el 96% de los valores medidos
 - Z0M corresponde al valor medido
- Cable de la barra B
 - Z1 y Z0 representan el 4% de los valores medidos

La división del 96%:4% de las impedancias medidas supone que Z1 y Z0 de una línea aérea son 4 veces mayores que las impedancias de un cable. En este caso se ignora el hecho de que las impedancias de los cables tienen un ángulo menor.

Otra limitación es que la falla se alimenta exclusivamente desde la barra A.

La figura 9 muestra la simulación de la falla (A-G) en la ubicación real de la falla (pórtico de la línea aérea = 200%). El estado 2 (de 53ms a 73ms) se estudia con más detalle a continuación, ya que el relé no funcionó correctamente como consecuencia de este estado. Como este estado sólo dura 20 ms, la representación en el dominio temporal de la tensión y la corriente se utilizó para comparar la simulación y el registro de fallas, ya que no se produce una impedancia de estado estacionario debido a la corta duración del estado 2.

Con ángulo de inicio:

Ángulo de inicio:

Figura 7: Introducción del ángulo de inicio de la falla

El ángulo de inicio de la falla tiene un gran impacto en la respuesta transitoria de la corriente de falla. Por lo tanto, debe leerse con la mayor precisión posible en el registro de fallas. La figura 7 muestra la entrada del ángulo de inicio de la falla en RelaySimTest; en este caso el ángulo es de 204°.

Impedancia de un aparato:	Z1, Z0
Z1:	4.1440Ω
	87.50°
Z0:	13.3000Ω
	86.60°

Figura 8: Introducción de las impedancias de la fuente

Las impedancias internas Z1s y Z0s de la fuente determinan la amplitud de la tensión y de la corriente. Para trazar la corriente simulada con la mayor precisión posible frente a la corriente de falla real, los parámetros mostrados en la figura 8 se determinaron mediante prueba y error. Como puede verse en la figura 9, la corriente de falla real puede simularse con gran precisión. Del mismo modo, la tensión simulada coincide estrechamente con la tensión del registro de fallas. La estrecha semejanza entre los valores simulados y los del registro de fallas indica que las impedancias de línea medidas (ver la tabla 1) son extremadamente precisas.

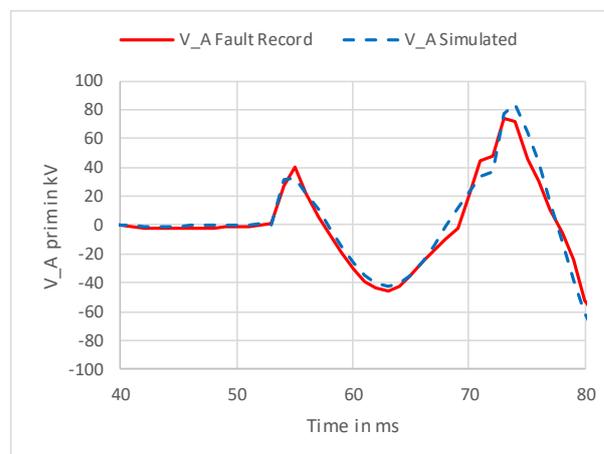
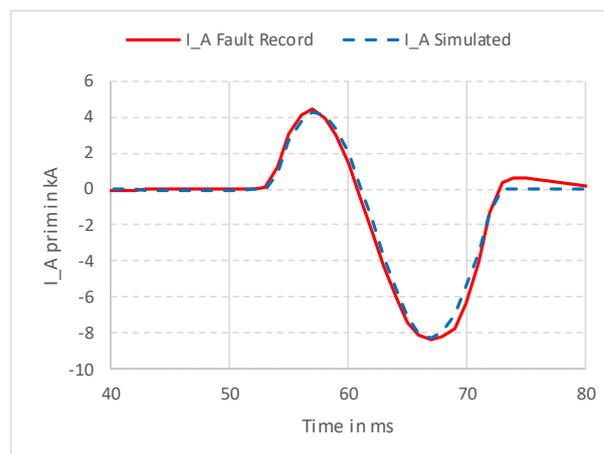


Figura 9: Simulación de la falla (adaptada al registro de fallas)

4.2 Método para determinar la distancia variable de la falla

Entre las variables que influyen en las impedancias determinadas por el relé de protección de distancia, y en consecuencia, en su respuesta, se encuentran:

- Las impedancias de línea Z1, Z0 y la impedancia de acoplamiento Z0M
- Los diferentes estados de conmutación durante la cancelación de la falla (ver las figuras 2 y 3)
- La ubicación de la falla
- El tipo de falla
- Las condiciones de alimentación (alimentación desde uno o dos lados) y las impedancias internas Z1s y Z0s de estas fuentes
- El factor de compensación homopolar kE necesario para calcular los bucles de fase a tierra.

Las variables a), b) y c) se aplican en la figura 11. Este gráfico muestra la reactancia en función de la ubicación de la falla en el caso de una falla de fase a tierra. Los resultados se determinaron en RelaySimTest utilizando la ecuación

$$X_{A-G} = \text{imag}\{Z_{A-G}\} \\ = \text{imag}\left\{\frac{U_{A-G}}{I_A - k_E * I_E}\right\} \quad \text{Ec. 1}$$

(ver figura 10) y corresponden a los resultados de estado estacionario que un relé determinaría¹.

V A-N prim.:	29.351 kV	∠	-2.72 °
V B-N prim.:	73.084 kV	∠	-124.39 °
V C-N prim.:	70.814 kV	∠	135.91 °
I A prim.:	4.8151 kA	∠	-75.39 °
I B prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I C prim.:	0.0000 A	∠	NaN
Z A-N prim.:	2.2742 Ω	∠	65.94 °
Z B-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z C-N prim.:	+∞	∠	NaN

Figura 10: Corrientes, tensiones e impedancias de estado estacionario en RelaySimTest de acuerdo con la figura 6, localización de falla del 200%

Una localización de falla del 200% corresponde a una falla en el inicio de la línea paralela de la línea de doble circuito.

En este caso se hicieron las siguientes suposiciones:

- Hay una falla A-G. Esto se aplica al ejemplo en cuestión.

- La corriente de falla sólo se alimenta desde uno de los lados. Esto se aplica al ejemplo en cuestión.
- El valor X establecido para la zona 1 corresponde al valor establecido en el relé en el momento de la falla.
- El factor kE establecido corresponde al valor ajustado en el relé en el momento de la falla.

Figura 11, : Se muestra la reactancia frente a la ubicación de la falla correspondiente al estado 2; se consideran los valores medidos de Z1, Z0 y Z0M. Se puede ver que la impedancia en una ubicación de falla del 200% es un poco menor que los valores establecidos para la zona 1. En este ejemplo, esto dio lugar al sobrealcance, que habría sido fácil de predecir utilizando RelaySimTest y los valores de impedancia medidos.

Figura 11, : Se muestra la reactancia en función de la ubicación de la falla en el caso del estado 1; se consideran los valores medidos de Z1, Z0 y Z0M. La comparación con  muestra el efecto del estado de conmutación.

Figura 11, : Se indica la reactancia en función de la ubicación de la falla; se consideran los valores medidos de Z1 y Z0, pero no la impedancia de acoplamiento Z0M. El hecho de que no se tenga en cuenta el acoplamiento indica que la impedancia es independiente del estado de conmutación. Las diferencias con respecto a los trazos  y  son evidentes.

Figura 11, : Se indica la reactancia en función de la ubicación de la falla; se consideran los valores estimados de Z1 y Z0, pero no la impedancia de acoplamiento Z0M. El sobrealcance no puede predecirse con este gráfico, ya que los valores de impedancia son notablemente diferentes y no se tiene en cuenta el acoplamiento. Una comparación con  revela la considerable diferencia entre los valores de impedancia medidos y los estimados.

¹ El factor k del primer tramo de línea en la dirección hacia adelante de un relé, determina el cálculo de las impedancias de fase a tierra en RelaySimTest. Por esta razón, se añadió el 4º tramo (auxiliar) en la figura 6 (flecha roja). Para mantener el

efecto aditivo del tramo auxiliar lo más bajo posible, se introdujo el valor mínimo de impedancia, 5mΩ.

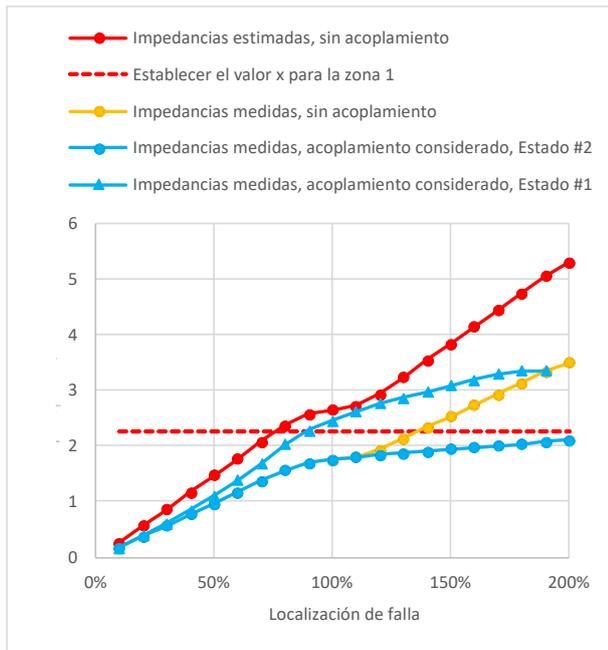


Figura 11: Reactancia en función de la ubicación de la falla

Esto nos lleva a las siguientes conclusiones provisionales:

- Deben medirse las impedancias de línea, ya que los valores de las tablas o los cálculos pueden ser inexactos (comparar con)
- Se debe considerar la impedancia de acoplamiento homopolar en el caso de fallas de fase a tierra (comparar con y con)
- Se debe tener en cuenta cualquier posible estado de conmutación que se produzca durante la secuencia de cancelación de fallas (compárese con)

5 Prueba del concepto de protección

Esta sección contempla una línea de doble circuito protegida por un relé de protección de distancia para demostrar cómo se pueden probar los esquemas de protección complejos.

5.1 Determinación de los casos de prueba correspondientes

Los apartados anteriores han ilustrado que los distintos estados de conmutación durante la cancelación de la falla se encuentran entre los factores que deben tenerse en cuenta a la hora de desarrollar y probar un esquema de protección.

La secuencia en la que se producen estos estados depende del orden en el que los relés emiten las órdenes de disparo y de los tiempos de disparo de los interruptores de potencia correspondientes. Como estos dependen de otras variables, tales como la ubicación de la falla, el tipo de falla y la configuración de la alimentación, se pueden estudiar diferentes escenarios utilizando las suposiciones del peor de los casos. Por ejemplo, se pueden investigar los siguientes escenarios²:

- Escenario 1: La falla ocurrió a $t=0\text{ms}$; el CB1 se abrió después de $t=60\text{ms}$ y el CB2 se abrió a $t=120\text{ms}$.
- Escenario 2: La falla se produjo a $t=0\text{ms}$; el CB2 se abrió después de $t=60\text{ms}$ y el CB1 se abrió a $t=120\text{ms}$.

En este caso, en lugar de utilizar todas las configuraciones de alimentación posibles, se pueden volver a estudiar diferentes escenarios con suposiciones del peor de los casos y varios tipos de fallas y ubicaciones de fallas.

RelaySimTest es una herramienta que calcula rápida y fácilmente todos los casos contemplados. El programa calcula tanto las corrientes $i(t)$ y tensiones $u(t)$ en el dominio del tiempo, como los fasores de estado estacionario asociados de \underline{I} y \underline{U} en cada estado de conmutación. También se calculan las impedancias de los seis bucles. Se utiliza la ecuación 1, lo que da como resultado las mismas impedancias que un dispositivo de protección de distancia habría determinado utilizando un método de estado estacionario.

A continuación, se describen dos posibles aplicaciones que, en conjunto, constituyen un estudio significativo del concepto de protección.

5.2 Evaluación con valores de estado estacionario (paso 1: sin relé)

La prueba del esquema de protección en el caso de una línea de doble circuito con valores de estado estacionario se puede llevar a cabo de la siguiente manera:

- Las impedancias de bucle de todos los relés y todos los casos de prueba correspondientes se calculan de acuerdo con la sección 5.1 (ver la figura 10). La figura 11 ofrece una representación potencialmente útil.
- En cada caso de prueba, las impedancias se comparan con los valores de los parámetros planificados y se realiza una evaluación para determinar la zona en la que se dispararían los relés.

Esta prueba podría detectar cualquier posible sobrealcance que realmente ocurriera, ya que la falla se ve en la zona 1 en el estado de conmutación 2.

² Alternativamente, la secuencia real de los estados de conmutación puede determinarse utilizando el método de "bucle cerrado iterativo". Ver la figura 13

Este enfoque significa que el esquema de protección puede probarse ya en la fase de diseño utilizando los resultados del cálculo del estado estacionario. Como no se necesita ningún relé ni ningún dispositivo de prueba de OMICRON, no se requiere disponer de una licencia para realizar los cálculos utilizando RelaySimTest.

5.3 Pruebas con señales en el dominio del tiempo (paso 2: con relé)

Si los relés están presentes, se puede realizar otra prueba con los valores de corriente y tensión calculados en el dominio del tiempo.

El procedimiento en este caso es el siguiente:

- El relé se parametriza tal como se ha diseñado.
- A continuación, se conecta a RelaySimTest mediante un dispositivo de prueba de OMICRON para permitir la salida de corrientes y tensiones, así como la medición de las señales binarias del sistema de relés (por ejemplo, la orden de disparo).
- La prueba se lleva a cabo. Si los resultados de todos los casos de prueba correspondientes son correctos, la prueba queda superada. Se introducen previamente en RelaySimTest los valores de consigna y las tolerancias para la evaluación de las señales binarias medidas.

Las pruebas con el relé son más confiables que las pruebas con valores de estado estacionario, ya que la respuesta del relé se emula directamente. Esta prueba también habría detectado cualquier sobrealcance que hubiera ocurrido.

La prueba se puede realizar para cada relé de protección de distancia o simultáneamente para varios relés. La figura 12 ilustra el principio de prueba con secuencias de estados de conmutación predefinidas según los ejemplos "Escenario 1" y "Escenario 2" citados en la sección 5.1. Las pruebas simultáneas de varios relés permiten probar también otras funciones pertinentes, como la comparación direccional. RelaySimTest permite el control de los equipos de prueba por Internet (pruebas distribuidas) para que puedan probarse simultáneamente los relés de varios lugares.

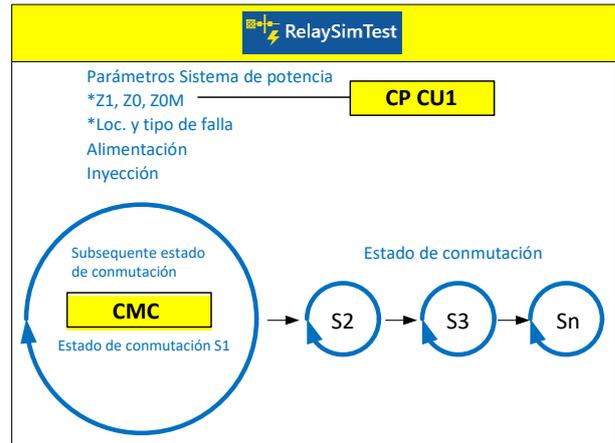


Figura 12: Pruebas con una secuencia predefinida de estados de conmutación

El método de "bucle cerrado iterativo" implementado en RelaySimTest permite realizar pruebas simultáneas de varios sistemas de relés de forma totalmente automática (ver la figura 13). Por consiguiente, no es necesario definir la secuencia del estado de conmutación utilizando hipótesis del peor de los casos. Las órdenes de disparo de todos los relés se registran de forma iterativa y, teniendo en cuenta los tiempos de disparo de los interruptores de potencia, se determinan las duraciones reales del estado y se aplican las señales de prueba en función de una falla real.

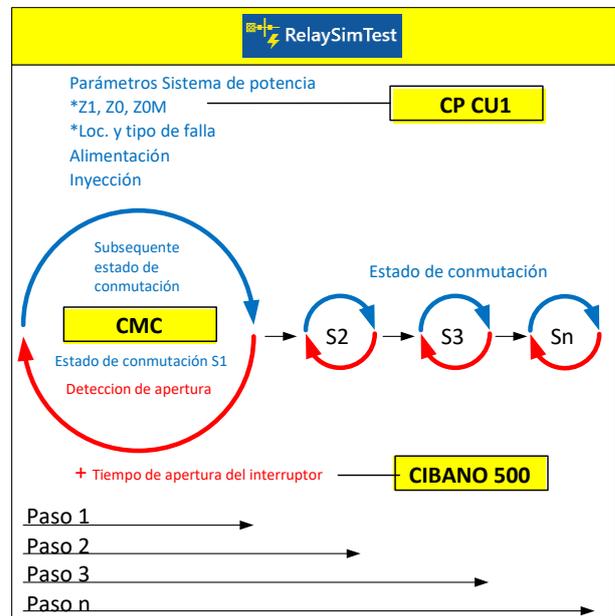


Figura 13: Pruebas con el método de "bucle cerrado iterativo"

6 Medición mínimamente invasiva de la impedancia de la línea

Un procedimiento propuesto en la reunión de usuarios de OMICRON de 2017 en Friedrichshafen permite determinar mediante medición la impedancia homopolar Z_0 y la impedancia de acoplamiento Z_{0M} de una línea de doble circuito poniendo fuera de servicio tan solo una línea (ver [1]). Es difícil realizar la desconexión simultánea de dos circuitos eléctricos acoplados una vez que la línea ya se ha puesto en servicio. Sin embargo, el método convencional de medición de una línea de doble circuito requiere una desenergización simultánea, por lo que resulta de gran interés el procedimiento alternativo, mínimamente invasivo, para la medición retrospectiva de líneas de doble circuito. La verificación de este método con mediciones reales no pudo llevarse a cabo hasta después de la reunión de usuarios de 2017 y se describe en [2]. El estudio correspondiente se presentó en la reunión de usuarios de 2018 en Berlín. Se recomienda familiarizarse con [1] y [2], ya que esto ayudará a la comprensión de esta sección.

Tabla 2: Resultados de la medición mínimamente invasiva de la impedancia de línea

	Z_1 (R/X)	Z_0 (R/X)	Z_{0M} (R / X)
Normal (en Ω)	0,849 2,776	2,131 9,132	1,144 5,779
Mínimamente invasiva (en Ω)	0,863 2,776	2,200 8,690	1,25 5,01
Error en %	1,65 0	3,24 -4,84	9,27 -13,3

La Tabla 2 presenta los resultados de ambas mediciones. Como era de esperar, la desviación con respecto a Z_1 es insignificante. La desviación de menos del 5% en el caso de Z_0 sigue estando dentro de los límites aceptables, mientras que la desviación de más del 13% en el caso de Z_{0M} requiere un análisis más detallado.

Como se describe en [1] y [2], la precisión del procedimiento depende de dos variables:

- Corriente I_p en el circuito en servicio y el factor de corriente derivado fsp
- Impedancia auxiliar



Figura 14: Medición primaria de I_p con 4 bobinas Rogowski

La medición de I_p se llevó a cabo de dos maneras diferentes:

- Secundaria, tal como se trata en [1] y [2]
- Primaria, en el cable del pórtico de la línea aérea (ver la figura 14). Esta opción no ha sido posible hasta la fecha.

Tabla 3: Factor de corriente fsp de la medición primaria y secundaria de I_p

	Magnitud	Ángulo de fase
Primaria	0,5818	7,28°
Secundaria	0,5888	6,39°

Al medir la corriente secundaria con la sonda de medida Chauvin Arnoux K2, se consideró una relación de transformación del transformador de corriente de 800A:1A y un error angular de la sonda de corriente de -5° a 50 Hz. Una comparación de las dos mediciones indicó que además de la comparación exitosa en [2], la medición secundaria fue extremadamente precisa.

Esto demuestra que los errores de la tabla 2 tienen que ver con la inexactitud de la impedancia auxiliar. Para determinar la impedancia auxiliar, en este caso se disponía de la geometría de los seis conductores de los dos circuitos. No se llevó a cabo ningún otro estudio de la exactitud de estos datos.

Lo que es crucial es el efecto de la inexactitud de las impedancias Z_0 y Z_{0M} sobre la impedancia simulada de la falla en RelaySimTest en la figura 6.

V A-N prim.:	42.065 kV	∠	0.40 °
V B-N prim.:	59.869 kV	∠	-110.70 °
V C-N prim.:	61.771 kV	∠	119.85 °
I A prim.:	6.6917 kA	∠	-73.28 °
I B prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I C prim.:	0.0000 A	∠	NaN
Z A-N prim.:	2.3464 Ω	∠	66.95 °
Z B-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z C-N prim.:	+∞	∠	NaN

Figura 15: Corrientes, tensiones e impedancias de acuerdo con la figura 6 de la medición mínimamente invasiva

El valor de X de la impedancia de bucle que se muestra aquí es $2,16\Omega$. El error de este valor comparado con el valor de $2,10\Omega$ derivado de las impedancias de línea correctas (figura 10) es del orden del 3%.

La inexactitud de la impedancia surge de la inexactitud de Z1, Z0 y Z0M. Sin embargo, hay que tener en cuenta que Z0M sólo puede ser significativo en determinadas condiciones, dependiendo del acoplamiento de un escenario de falla concreto. En el caso de la falla aquí tratada, el acoplamiento tiene el máximo efecto posible, ya que la impedancia del acoplamiento tiene un impacto a lo largo de toda la longitud de la línea.

También se puede ver a partir de [1] que la precisión de Z0 depende menos de la impedancia auxiliar que la de Z0M. A pesar de todo lo anterior, se debe intentar estimar la impedancia auxiliar con la mayor precisión posible. Consulte las tres opciones en [2], capítulo 5 para obtener más información.

7 Resumen

Este estudio demuestra que midiendo Z1, Z0 y Z0M y realizando una simulación en RelaySimTest, las corrientes y tensiones asociadas a una falla pueden simularse con extrema precisión. Las corrientes y tensiones de una falla real se aplican al relé, el cual responde de forma correspondientemente realista.

OMICRON ofrece la solución completa:

- Medición mínimamente invasiva de Z1, Z0 y Z0M con CP CU1. Mínimamente invasiva significa que sólo un circuito debe estar desenergizado. Este documento demuestra una vez más la precisión de los resultados obtenidos con este método.
- Simulación de los valores de prueba utilizando el modelo de red en RelaySimTest, teniendo en cuenta el acoplamiento mutuo.
- Consideración de los diferentes estados de conmutación durante la cancelación de fallas.

Por lo tanto, el usuario tiene acceso a una amplia gama de equipos de prueba y software para facilitar las pruebas sencillas, prácticas y basadas en el sistema de los relés de protección de distancia de las líneas de doble circuito.

Referencias

- [1] Pikisch, M.: The significance of mutual coupling in the line model (El significado del acoplamiento mutuo en el modelo de línea). OMICRON User Meeting 2017; Friedrichshafen
- [2] Konzelmann, S.; Pikisch, M.: Measuring the impedance on double-circuit lines with the parallel system in operation (Medición de la impedancia en líneas de doble circuito con el sistema paralelo en funcionamiento). OMICRON User Meeting 2018; Berlín

Acerca de los autores



Moritz Pikisch estudió ingeniería eléctrica en el Instituto de Tecnología de Karlsruhe. Después de trabajar como instructor en OMICRON entre 2010 y 2013, pasó a un puesto de jefe de producto en 2014. En esta función, fue responsable de los equipos CPC 100 y CP CU1, con especial hincapié en la medición

de la impedancia de línea y las pruebas de los sistemas de tierra. Desde marzo de 2018 trabaja como ingeniero de aplicaciones para OMICRON Estados Unidos. En esta función, sigue siendo el contacto principal dentro de la empresa para mediciones de impedancia de línea y de tierra.

Rainer Luxenburger estudió ingeniería eléctrica en la Universidad de Saarland. Entre los años 2000 y 2006 trabajó como asistente de investigación en la Universidad Técnica de Dresde. Desde octubre de 2006 trabaja como ingeniero de aplicaciones para OMICRON en Alemania. Su trabajo en este puesto abarca las áreas de capacitación y consultoría técnica.

OMICRON es una compañía internacional que presta servicio a la industria de la energía eléctrica con innovadoras soluciones de prueba y diagnóstico. La aplicación de los productos de OMICRON brinda a los usuarios el más alto nivel de confianza en la evaluación de las condiciones de los equipos primarios y secundarios de sus sistemas. Los servicios ofrecidos en el área de asesoramiento, puesta en servicio, prueba, diagnóstico y formación hacen que la nuestra sea una gama de productos completa.

Nuestros clientes de más de 160 países confían en la capacidad de la compañía para brindar tecnología de punta de excelente calidad. Los Service Centers en todos los continentes proporcionan una amplia base de conocimientos y un extraordinario servicio al cliente. Todo esto, unido a nuestra sólida red de distribuidores y representantes, es lo que ha hecho de nuestra empresa un líder del mercado en la industria eléctrica.

Para obtener más información, documentación adicional e información de contacto detallada de nuestras oficinas en todo el mundo visite nuestro sitio web.