

SIMULACIÓN DE LA FUNCIÓN DE OSCILACIÓN DE POTENCIA EN RELÉS DE DISTANCIA

Fernando Chapi, Ing.

Antonio Fonseca, MSc.

Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

Resumen.- En un sistema eléctrico de potencia existen muchas condiciones anormales que pueden provocar oscilaciones de potencia.

Los relés de distancia utilizados en la protección de líneas de transmisión suelen operar incorrectamente durante oscilaciones de potencia en el sistema, para evitar esto los relés utilizan diferentes métodos para bloquean las zonas de operación.

Este proyecto simula en Matlab el algoritmo que utiliza el relé de distancia SIEMENS 7SA6 para detectar una oscilación de potencia.

La rutina de programación desarrollada en Matlab llamada FORDI 1.0 ayuda a establecer los posibles ajustes ante oscilaciones de potencia del sistema, en el relé SIEMENS 7SA6 y para relés numéricos cuyo algoritmo de detección de una oscilación sea la relación entre la variación de la impedancia y la variación del tiempo ($\Delta Z/\Delta t$).

La aplicación de la rutina de programación FORDI 1.0 se realiza en un sistema de prueba, realizando una simulación electromecánica (RMS) en Power Factory – DigSilent y obteniendo archivos del estándar IEEE Std C37.111-1998/1999 (COMTRADE) de voltaje y corriente en el punto de ubicación del relé de distancia.

Palabras clave.- Oscilaciones de potencia, Relés de distancia, Sistemas eléctricos de potencia, Protecciones eléctricas.

I. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) están expuestos a condiciones anormales de funcionamiento, como fallas, pérdida de líneas de transmisión (L/T), aplicación o pérdida de generadores o grandes cargas, lo que puede provocar un desequilibrio entre generación y carga.

Estas perturbaciones pueden provocar oscilaciones de potencia, que son variaciones del ángulo del rotor de las máquinas.

Durante oscilaciones de potencia en el SEP, el relé de distancia puede operar inadecuadamente y provocar mayor inestabilidad en el sistema.

II. RELÉS DE DISTANCIA DURANTE OSCILACIONES DE POTENCIA

A. Filosofía de Protección de los Relés de Distancia ante Oscilaciones de Potencia

En la figura 1 se observa la protección de una línea de transmisión con una característica de operación cuadrilateral, también se mira la impedancia calculada por el relé durante oscilaciones de potencia y una falla.

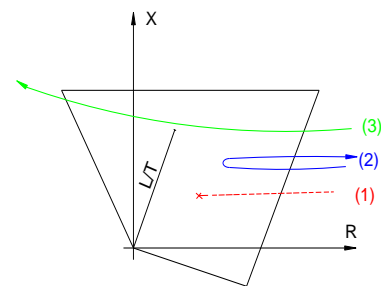


Fig. 1 Característica de la impedancia durante una oscilación de potencia y una falla.

Caso 1: Ocurre un corto circuito en la línea de transmisión y la impedancia se traslada en forma instantánea desde la zona de carga a la zona de protección del relé de distancia. (1)

Caso 2: Durante una oscilación de potencia estable la impedancia medida por el relé se desplaza en forma lenta y posiblemente ingresa a la zona de protección del relé, después de un tiempo la impedancia abandona la zona de protección. (1)

Caso 3: Si la impedancia recorre la zona de protección en forma completa, se trata de una oscilación inestable. (1)

Para evitar la operación incorrecta del relé son bloqueadas las zonas de operación durante una oscilación de potencia estable con la función PSB - bloqueo por oscilación de potencia (Power Swing Blocking).

Se efectúa un disparo si la oscilación de potencia es inestable con la función disparo por oscilación de potencia – OST (Out of Step Tripping).

B. Variación de la Impedancia Durante una Oscilación de Potencia

Para el análisis de la variación de la impedancia durante una oscilación de potencia se considera un SEP sencillo con la conexión de un generador sincrónico a un motor sincrónico a través de una L/T.

Las maquinas sincrónicas pueden ser representadas aproximadamente por una fuente de voltaje constante en serie con una reactancia constante. (2) De esta manera el generador es representado por E_G y X_G y el motor por E_M y X_M . Se supone que los voltajes son constantes en magnitud pero diferentes en ángulo durante oscilaciones de potencia, δ es el ángulo de potencia entre E_G y E_M (referencia).

En la figura 2, la impedancia que existe entre las dos fuentes de voltaje es $X = X_M + X_L + X_G$, despreciando la capacitancia y la resistencia de la línea de transmisión.

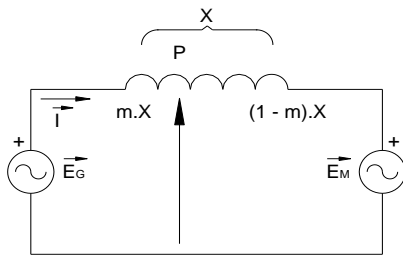


Fig. 2 Sistema simple de dos maquinas (3)

Suponiendo que el relé de distancia se encuentra ubicado en la posición P a una proporción m de la impedancia que existe entre las dos fuentes, m es un número real menor a uno. (3)

La impedancia calculada por el relé de distancia en función del ángulo de potencia se describe en:

$$\vec{Z}_r = \frac{\vec{V}_P}{\vec{I}} = \frac{(1-m).E_G \angle \delta + m.E_M}{E_G \angle \delta - E_M \angle 0} \cdot \vec{X} \quad (1)$$

En la figura 3 se grafica la ecuación 1 en el plano complejo de impedancias R-X, si $E_G = E_M$ la impedancia medida por el relé es una línea recta que pasa por el centro de la impedancia de las dos fuentes, este punto de cruce es llamado *centro eléctrico*.

En el caso de que en la ecuación 1 se tenga $E_G \neq E_M$, los lugares geométricos de la impedancia al variar el ángulo de potencia son circulares, esto depende de la relación E_G/E_M como se indica en la figura 3.

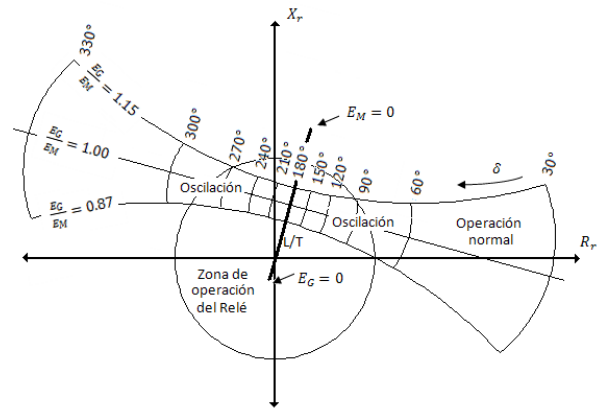


Fig. 3 Gráfico de la impedancia calculada por un relé de distancia en un sistema eléctrico de dos máquinas (3)

Se puede decir que la trayectoria de la impedancia durante una oscilación tiende a pasar por o cerca del centro eléctrico del sistema, independientemente donde esté ubicado el relé de distancia, de esta manera el relé de distancia puede estar adelante o atrás del centro eléctrico.

De esta manera si el centro eléctrico se encuentra fuera del alcance de las zonas de protección, no es necesario activar la función de oscilación, ya que durante una oscilación de potencia la impedancia medida por el relé no ingresa a dicha zona.

III. RELÉ SIEMENS 7SA6 (1)

El relé de distancia SIEMENS 7SA6 es numérico y ayuda a la protección de líneas de transmisión.

A. Función de Oscilación de Potencia

El relé SIEMENS 7SA6 tiene una función adicional para la detección de oscilaciones de potencia (Power swing detection), la cual bloquea las zonas de operación durante una oscilación de potencia estable y también permite la operación del relé durante una oscilación inestable.

Para la detección adecuada de una oscilación de potencia, el relé SIEMENS 7SA6 utiliza en cada una de las tres fases el diagrama lógico que se muestra en la figura 4.

Para determinar si es una oscilación de potencia, el relé debe cumplir con todos los bloques indicados en la figura 4, excepto con el bloque Control de Trayecto OST, que se utiliza para detectar una oscilación de potencia inestable.

Una vez detectada la oscilación de potencia la función del relé activa la salida llamada en el diagrama lógico de la figura 4 como "Oscilación de Potencia".

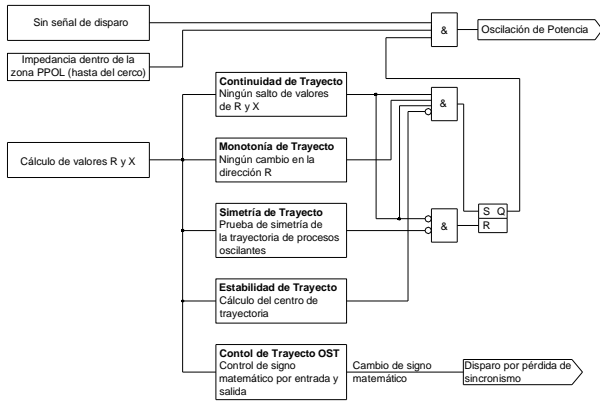


Fig. 4 Diagrama lógico para la detección de oscilación de potencia del relé SIEMENS 7SA6

1) *Bloque Señal de Disparo:* Este bloque es editado por el ingeniero de protecciones puede ser 1L (uno lógico) o 0L (cero lógico).

Este bloque se encuentra pre-ajustado por el fabricante como cero lógico (No se encuentra activado).

2) *Bloque Impedancia en el PPOL:* Este bloque determina si la impedancia medida por el relé se encuentra dentro de la característica de impedancia PPOL (impedancia de oscilación).

La característica de impedancia PPOL se encuentra separada una distancia mínima ZDIF de la impedancia de arranque APOL en todas las direcciones como se indica en la figura 5.

La impedancia de arranque APOL se encuentra definida por los mayores ajustes de R y X de las zonas de protección del relé.

La distancia ZDIF se define según la corriente nominal del relé de distancia, así para un relé de corriente nominal de 5 A la impedancia ZDIF es igual a 1 Ω secundarios, para una corriente nominal de 1 A, ZDIF es igual a 5 Ω secundarios.

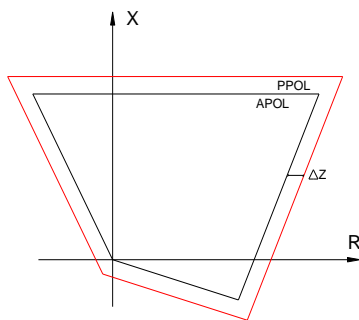


Fig. 5 Característica de operación para la detección de una oscilación de potencia

3) *Bloque Continuidad del Trayecto:* Para medir la variación de la impedancia el relé SIEMENS 7SA6 calcula

la diferencia de un punto de prueba y el próximo, esta diferencia debe ser pequeña para que se pueda determinar como una oscilación. Es decir que $|dR(k) - dR(k + 1)| < \text{valor umbral}$.

La variación de la impedancia se supervisa en ciclos de $\frac{1}{4}$ del periodo.

4) *Bloque Monotonía del Trayecto:* Durante una oscilación de potencia, la impedancia medida por el relé no debe cambiar la dirección de desplazamiento del eje R.

5) *Bloque Simetría del Trayecto:* Este bloque calcula la impedancia en cada fase individualmente y las compara con las dos fases restantes, si en el sistema existe una oscilación de potencia las impedancias calculadas son similares.

En cambio durante una falla asimétrica las impedancias calculadas en cada fase son diferentes.

6) *Bloque Estabilidad del Trayecto:* La impedancia medida por el relé de distancia puede ingresar a la zona de operación durante una oscilación de potencia, esto corresponde a un punto de la curva de inestabilidad estática.

En la figura 6 se indica la curva de inestabilidad estática, para determinar una oscilación el relé calcula el centro de la curva de inestabilidad estática y comprueba si el valor de la reactancia (X) medida por el relé es menor que el centro de la curva.

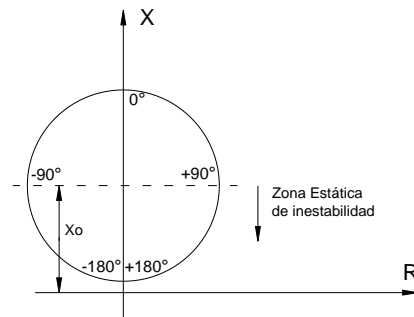


Fig. 6 Curva de inestabilidad estática

7) *Bloque Control del Trayecto OST:* Este bloque provoca la actuación del relé de distancia si la oscilación de potencia es inestable.

Si la parte resistiva (R) de la impedancia medida por el relé tiene el mismo signo al momento de ingresar y salir de la característica APOL, la oscilación de potencia tiende a estabilizarse.

Caso contrario cuando la parte resistiva (R) de la impedancia tiene diferente signo al momento de ingresar y salir de la característica APOL, se trata de una oscilación de potencia inestable y el relé genera una orden de disparo.

B. Lógica de Bloqueo por Oscilación de Potencia (1)

Una vez detectada la oscilación de potencia por el diagrama lógico que se indica en la figura 4, el relé bloquea las zonas de operación por un tiempo ajustable como se indica en el diagrama lógico de la figura 7.

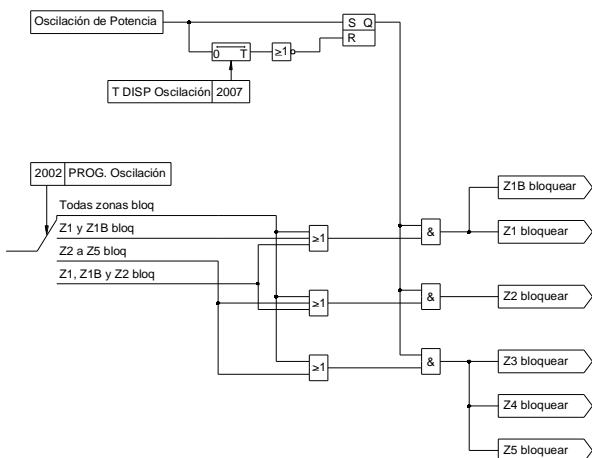


Fig. 7 Diagrama lógico de bloqueo de las zonas de operación por detección de una oscilación de potencia del relé SIEMENS 7SA6.

El tiempo ajustable en el diagrama lógico se llama T DIP Oscilación, según las características del relé SIEMENS 7SA6 este tiempo se encuentra en un valor pre-ajustado de 0.08 s y las posibilidades de ajuste se encuentran entre 0.08 s a 5 s, con incrementos de 0.01 s.

Las zonas bloqueadas durante una oscilación de potencia pueden ser ajustadas por el ingeniero de protecciones según el requerimiento del sistema, para esto se utiliza el selector llamado PROG Oscilación que se indica en el diagrama lógico de la figura 7.

Según la posición del selector PROG Oscilación el relé de distancia puede bloquear todas las zonas, bloquear la zona 1 y zona 1B (zona de sobre alcance), bloquear de la zona 2 a la zona 5 y bloquear la zona 1, zona 1B y la zona 2.

IV. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DEL RELÉ SIEMENS 7SA6 PARA LA DETECCIÓN DE UNA OSCILACIÓN DE POTENCIA

La implementación del algoritmo que utiliza el relé SIEMENS 7SA6 en la detección de una oscilación de potencia se utiliza el paquete computacional Matlab 7.8.

En la figura 8 se indica la rutina de programación que ayuda a la calibración y simulación de la función de oscilación de potencia la cual es llamada FORDI 1.0 (Función de Oscilación del Relé de Distancia).

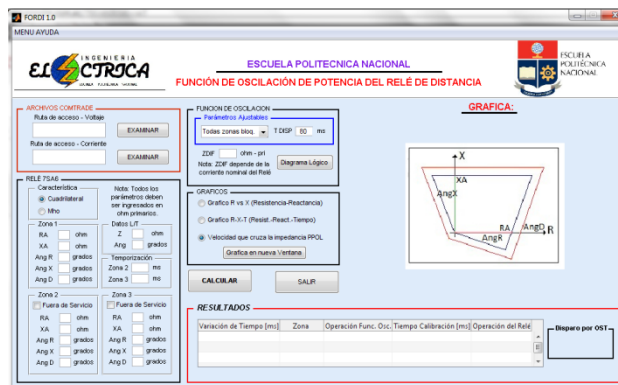


Fig. 8 FORDI 1.0 (Función de Oscilación del Relé de Distancia)

Los datos que se deben ingresar en la rutina de programación FORDI 1.0 son los archivos COMTRADE de voltaje y corriente en el punto de ubicación del relé, las características de las zonas de operación y seleccionar las zonas de bloqueo durante una oscilación de potencia.

Los resultados con mayor importancia de la rutina de programación son posibles tiempos de ajuste de la función de oscilación de potencia y gráficos R-X, R-X-T que ayudan a comprender la variación de la impedancia durante una oscilación de potencia.

V. APLICACIÓN DE LA RUTINA DE PROGRAMACIÓN FORDI 1.0

Para realizar la aplicación de la rutina de programación FORDI 1.0 se utiliza el SEP del ejemplo 16.9 detallado en el libro "Análisis de Sistemas de Potencia" de J. Grainger y W. Stevenson, el cual es un sistema de transmisión de 60 Hz, 230 kV, figura 9.

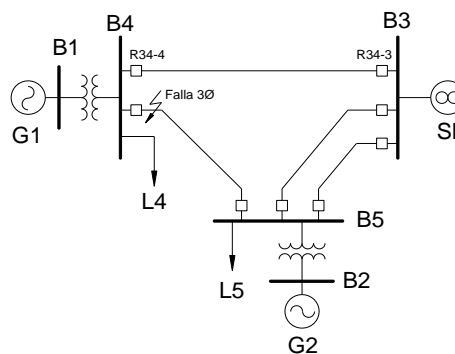


Fig. 9 Sistema eléctrico de potencia de prueba (4)

A. Transitorios Electromecánicos en Power Factory – DigSilent

La simulación de transitorios electromecánicos en Power Factory – DigSilent se realiza en el SEP de prueba considerado los siguientes puntos:

- La potencia mecánica de entrada de cada máquina es constante
- El amortiguamiento es despreciable
- El generador está representado por una reactancia transitoria constante en serie con un voltaje interno transitorio constante
- El ángulo mecánico del rotor de cada una de las máquinas coincide con δ , que es el ángulo de potencia.
- Todas las cargas se pueden considerar como impedancias en derivación a tierra con valores que se determinan por las condiciones que prevalecen inmediatamente antes de las condiciones transitorias. (4)

Se realiza varios casos de estudio para la simulación de una falla trifásica en la línea de transmisión 4-5 cerca de la barra 4, esta es despejada en diferentes tiempos después de ocurrida la falla con la apertura tripolar de los dos disyuntores de la L/T fallada.

En la figura 10 se observa la impedancia medida por el relé de distancia R34-4 (relé instalado en la barra 4 y protege a la L/T 34) para diferentes tiempos de despeje de la falla, la impedancia de color azul indica un tiempo de despeje de la falla de 0.150 s, la impedancia de color rojo es para un tiempo de despeje de 0.180 s y la impedancia de color verde para un tiempo de despeje de 0.230 s.

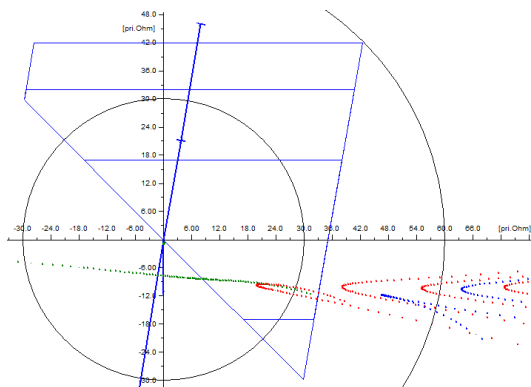


Fig. 10 Impedancia medida por el relé de distancia para diferentes tiempos de despeje de la falla – Fuente DigSilent

Del análisis se observa que, mientras más fuerte es la contingencia, la impedancia medida por el relé se aproxima más a la zona de operación.

B. Calibración de la Función de Oscilación con la Rutina de Programación FORDI 1.0

1) *Comportamiento del Relé de Distancia Durante una Oscilación de Potencia Estable:* En el caso de estudio el SEP permanece estable, si la falla trifásica en la L/T 4-5 cerca de la barra 4 es despejada a 0.180 s después de ocurrida la falla.

El relé R34-4 se activa la función de oscilación debido a que la variación de la impedancia ingresa a la zona de operación.

En la figura 11 se observa la variación de la impedancia, el primer evento que observa el relé es la falla que se localiza atrás de la posición del relé, después de un tiempo la falla es despejada y la impedancia de oscilación ingresa a la zona 1 de operación del relé.

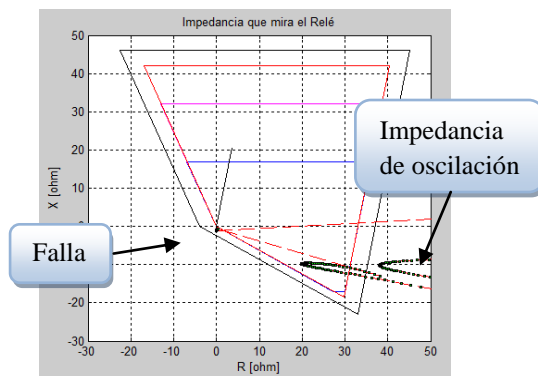


Fig. 11 Diagrama R-X con la impedancia calculada por el relé R34-4 durante una oscilación estable

Considerando un $ZDIF = 4\Omega - pri$, la velocidad con la que ingresa a la zona 1 es de $262.5 \Omega/s$ y esta impedancia el relé la considera como una oscilación de potencia.

En la figura 12 se muestra la tabla de resultados obtenida de la rutina de programación FORDI 1.0, en las dos primeras columnas de la tabla se visualiza que la impedancia ingresa un intervalo de 221 ms a la zona 1.

RESULTADOS				
Variación de Tiempo [ms]	Zona	Operación Func. Osc.	Operación del Relé	Disparo por OST
220 8330	1	1	220 8330 No Trip	NO

Fig. 12 Tabla de resultados

También se observa a la derecha en la figura 12, el recuadro de OST indicando que no existen oscilaciones de potencia inestables.

De esta manera un posible ajuste de la función de oscilación es el bloqueo de la zona 1 por un tiempo de 270 ms (asumiendo un margen de 20% de seguridad el tiempo de bloqueo).

La rutina de programación FORDI 1.0 tiene la opción de observar la variación de la impedancia en un diagrama R-X-T, esto ayuda a comprender el fenómeno que ocurre, figura 13.

En este caso de estudio se observa que la variación de la impedancia ingresa una sola vez a la zona de operación, la segunda y tercera oscilación de impedancia se atenúa ya que la oscilación que se produjo en el sistema es estable.

2) *Comportamiento del Relé de Distancia Durante una Oscilación de Potencia Inestable:* En el caso de estudio planteado, el sistema pierde el sincronismo, si la falla trifásica en la L/T 4-5 cerca de la barra 4 es despejada a 0.230 s después de ocurrida la falla.

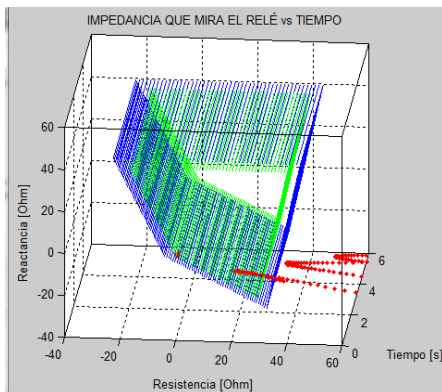


Fig. 13 Diagrama R-X-T con la impedancia calculada por el relé R34-4 durante una oscilación estable

En la figura 14, 15 se muestra el diagrama R-X, R-X-T respectivamente del relé R34-3, el primer evento que observa el relé es la falla trifásica en la zona 2, en este caso no opera el relé debido a que el tiempo de temporización de la zona 2 es mayor al tiempo que la impedancia se encuentra.

Después de despejada la falla el relé observa una oscilación de impedancia que ingresa a la zona PPOL con un signo de la resistencia negativo y sale de la zona PPOL con signo de resistencia positivo. Con esto cumple la condición de disparo por OST.

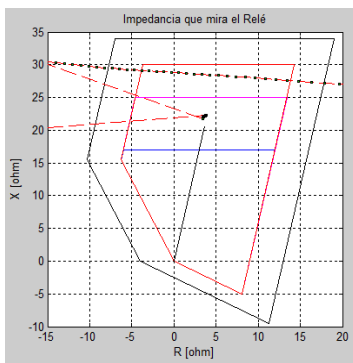


Fig. 14 Diagrama R-X del relé R34-3

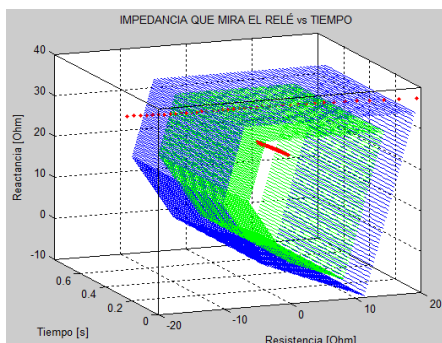


Fig. 15 Diagrama R-X-T del relé R34-3

En figura 16 se observa la tabla de resultados de la rutina de programación FORDI 1.0, se obtiene que el tiempo que la impedancia permanece en la zona 2 como una falla es 212 ms y el tiempo en que la impedancia cruza toda la zona de operación APOL es 71 ms.

También se muestra en el recuadro *Bloqueo por OST* un SI, que indica la existencia de una oscilación de potencia inestable.

RESULTADOS				
Variación de Tiempo [ms]	Zona	Operación Func. Osc.	Tempo Calibración [ms]	Operación del Relé
0	2	0	0	0 No Trip
212.5000	2	0	0	0 No Trip
70.8330	3	1	70.8330	No Trip

Disparo por OST: **SI**

Fig. 16 Tabla de resultados para una oscilación de potencia inestable

3) *Comportamiento del Relé de Distancia Durante una Falla Simétrica:* En el SEP de prueba se simula una falla trifásica franca en la L/T34 al 75% de la barra 4, en este caso de estudio la impedancia se traslada rápidamente de una zona de carga a la zona de operación del relé, esto se observa en la figura 17.

También se observa que una vez que la impedancia ingresa a la zona de operación se mantiene durante todo el proceso de simulación, estos resultados son correctos ya que la falla no es despejada en la simulación RMS.

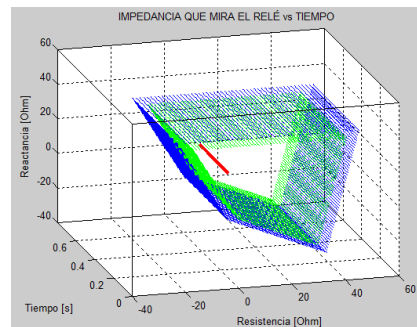


Fig. 17 Diagrama R-X-T del relé R34-4

Como debe esperarse en este caso la impedancia que ingresa a la zona de operación es considerada como una falla.

3) *Comportamiento del Relé de Distancia Durante una Falla Asimétrica:* En el SEP de prueba se simula una falla monofásica en la L/T45 cerca de la barra 4, esta falla es despejada con la apertura de L/T en forma tripolar a 0.180 s después de ocurrida la falla.

En la figura 18 se observa el diagrama R-X del relé R34-3, en la que las impedancias oscilan en diferentes lugares geométricos, así la oscilación de impedancia de color rojo es la medida en la fase A, la impedancia de color azul y verde son medidas en las fases B y C.

En este caso la función de oscilación no se activa y el relé directamente considera a la impedancia como una falla.

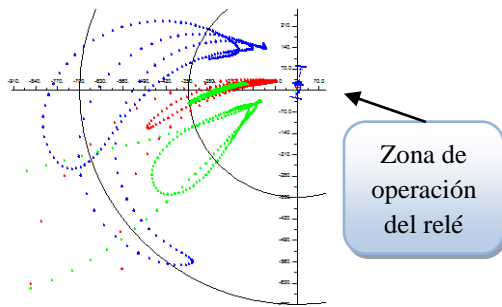


Fig. 18 Diagrama R-X del relé R34-3 – Fuente DigSilent

VI. CONCLUSIONES

Durante una oscilación de potencia estable la impedancia medida por el relé puede ingresar a las zonas de operación y luego de un tiempo la impedancia sale de esta zona, la operación inadecuada del relé de distancia en este proceso puede llevar al sistema a tener mayor inestabilidad. Por este motivo durante una oscilación de potencia estable es necesario bloquear las zonas de operación.

Durante una oscilación de potencia inestable es conveniente la operación del relé de distancia, ya que el sistema no se encuentra en condiciones operativas.

Las oscilaciones de la impedancia tienden a pasar por el centro eléctrico del SEP, si el relé de distancia se encuentra ubicado adelante del centro eléctrico no es necesario la activación de la función de oscilación, caso contrario si el relé se encuentra ubicado atrás del centro eléctrico es posible que las oscilaciones de impedancia ingresen a las zonas de operación del relé y sea necesario la activación de la función de oscilación.

Generalmente para la calibración de la función de oscilación de potencia es necesario ajustar el tiempo de bloqueo de las zonas de operación y la impedancia ZDIF, en el caso del relé de distancia SIEMENS 7SA6 se ajusta el tiempo de bloqueo y las zonas de operación a bloquear, en este relé la impedancia ZDIF es un valor fijo.

Se puede prevenir un disparo durante una oscilación de potencia estable tratando de que la oscilación de la impedancia ingrese a las zonas temporizadas (zona 2 y zona 3) y que el tiempo en el que la impedancia se encuentra dentro de la zona sea menor al tiempo de temporización de la zona.

El desarrollo en Matlab del algoritmo utilizado por la función de oscilación de potencia ayuda a estudiar el comportamiento de las oscilaciones de impedancia en el relé de distancia debido a que la función de oscilación no siempre se encuentra modelada en las librerías de Power Factory – DigSilent.

La rutina de programación FORDI 1.0 ayuda a obtener posibles ajustes de la función de oscilación del relé de distancia 7SA6. Debido a que FORDI 1.0 analiza la velocidad de la impedancia ($\Delta Z/\Delta t$) también sirve para obtener ajustes aceptables en relés digitales que tengan similar principio de detección de oscilaciones de potencia.

VII. REFERENCIAS

1. Manual, SIPROTEC, "Distance Protection 7SA6", SIEMENS.
2. Kimbark, Edward W., (1948), "Power System Stability", Volumen I, New York.
3. Kimbark, Edward W., (1967), "Power System Stability and Control", Volumen II, Sixth Printing, USA.
4. J. Grainger, W. Stevenson, (1996), "Análisis de Sistemas de Potencia", McGraw-Hill. Inc., USA.
5. Kundur, Prabha, (2001), "Power System Stability and Control", Palo Alto, California : McGraw-Hill.
6. Gonzáles-Longatt, Francisco M, (Febrero 2006), "Estabilidad de Sistemas de Potencia".
7. Ortega, Christian E., "Metodología para el análisis de oscilaciones de potencia (power swing) y fuera de paso (out of step), y calibración de relés de protección (bloqueo y disparo) en líneas de transmisión", Tesis de Grado E.P.N., Quito 2009.
8. IEEE, Power Engineering Society, (2005), "Power Swing And Out-Of-Step Considerations On Transmission Lines", A report to the Power System Relaying Committee.
9. Ziegler Gerhad, (1999), "Numerical Distance Protection: Principles and Applications", Siemens – Erlangen.
10. Anderson, John B., (1998), "Power System Protection", United States of America : P. M. Anderson.
11. IEEE, Khoradshadi-Zadeh, H., (2005), "Evaluation and Performance Comparison of Power Swing Detection Algorithms", Power Engineering Society General Meeting.
12. IEEE PES, Apostolov, A. P., (2004), "Superimposed Components Based Sub-cycle Protection of Transmission Lines", Power Systems Conference and Exposition.
13. Society, IEEE Power Engineering. "IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems".
14. Játiva, Jesús y Noboa, Napoleón, (1985), "Estudio de las características de cargabilidad de líneas de transmisión y la influencia del soporte de potencia reactiva", EPN - Jornadas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Volumen 6.

15. J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, (2003), "Sistemas de Potencia: Análisis y Diseño", Cengage Learning.

16. IEEE Power & Energy Society, Gutman, Richard, (November 1988), "Application of Line Loadability Concepts to Operating Studies".

17. IEEE Power & Energy Society, (2008), "Fast Detector of Symmetrical Fault during Power Swing", The International Conference on Electrical.

18. DIgSILENT Power Factory "Manual 13.1 GmbH Gomaringen Germany 2006".

VIII. BIOGRAFÍAS



Fernando Chapi L., nació en Tulcán – Ecuador. Sus estudios secundarios los realizó en el Instituto Tecnológico Bolívar en la ciudad de Tulcán. Su formación profesional la realizó en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de Ingeniero Eléctrico en el año 2012.

e-mail: joh_dc@hotmail.com



Antonio Fonseca, nació en Quito, Ecuador en 1979. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico (marzo 2003) y Magister en Ingeniería Eléctrica (julio 2009) en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) Quito–Ecuador. Actualmente, forma parte del Departamento de Servicios Especializados de Subestaciones de CELEC EP – Unidad de Negocio TRANSELECTRIC. Adicionalmente se desempeña como profesor en la carrera de Ingeniería Eléctrica y en la Maestría en Ciencias de Ingeniería Eléctrica de la EPN.

e-mail: afonseca@transelectric.com.ec