

Bloqueo por Oscilación de Potencia

Martínez Mariscal Ricardo
Sección de Estudios de Posgrado
e Investigación ESIME Zacatenco
Instituto Politécnico Nacional
CDMX, México
rmartinezm1500@alumno.ipn.mx

David Sebastián Baltazar
Sección de Estudios de Posgrado
e Investigación ESIME Zacatenco
Instituto Politécnico Nacional
CDMX, México
dsebasti@ipn.mx

Resumen— Los sistemas de potencia operan bajo márgenes de estabilidad y cuando se presenta una perturbación, los rotores de los generadores están sujetos a severas oscilaciones de flujo de potencia en el sistema. La detección de oscilaciones de potencia en sistemas de transmisión es un aspecto crucial para la estabilidad del sistema eléctrico. El ajuste de los relevadores para la función de bloqueo de oscilaciones de potencia (PSB) es una tarea compleja. En muchos casos, los ajustes inadecuados provocan la operación errónea de los relevadores. Este trabajo proporciona una visión general de los esquemas convencionales de PSB basados en impedancia. Se describe el procedimiento para configurar un esquema PSB y se analiza su operación mediante una simulación dinámica para verificar su correcto ajuste. Los resultados muestran que la función PSB opera correctamente al realizar el bloqueo de la protección de distancia durante una oscilación de potencia.

Palabras Clave — Oscilaciones de potencia, Protección de distancia, Pérdida de sincronismo, Bloqueo por oscilaciones.

Abstract- Power systems operate within stability margins, and when a disturbance occurs, generator rotors are subjected to severe power flow oscillations in the system. Detecting power swings in transmission systems is a crucial aspect of power system stability. Adjusting relays for the Power Swing Blocking (PSB) function is a complex task. In many cases, improper settings lead to erroneous relay activations. This paper provides an overview of conventional PSB schemes based on impedance. The procedure for configuring a PSB scheme is described, and its operation is analyzed through a dynamic simulation to verify proper adjustment. The results show that the PSB function operates correctly by blocking distance protection during a power swing.

I. INTRODUCCIÓN

El balance entre la potencia generada y la consumida se mantiene durante condiciones de operación estables y además es necesario para mantener la estabilidad en el sistema. Las pequeñas y grandes perturbaciones en el sistema de potencia pueden causar oscilaciones en los flujos de potencia. Las oscilaciones de potencia pueden provocar disparos no deseados de los relevadores de distancia, esta acción agrava la perturbación inicial del sistema, lo que puede generar grandes apagones o cortes de energía [1].

El bloqueo por oscilación de potencia (PSB) es una función disponible en los relevadores digitales microprocesados que

evita la operación de los esquemas de protección de distancia durante oscilaciones de potencia.

En este artículo se presenta la configuración que utiliza el método convencional PSB, el cual se basa en la tasa de cambio de la impedancia en el plano complejo. El desempeño de este método se analiza utilizando el software PowerFactory DIGSILENT®.

II. OSCILACIONES DE POTENCIA

Las oscilaciones de potencia son variaciones en el flujo de potencia que ocurren cuando el voltaje en los generadores comienza a variar en el tiempo con respecto a otra fuente en la misma red. El fenómeno de las oscilaciones ocurre generalmente después de despejar una falla en el sistema. Una oscilación de potencia es estable cuando, tras una perturbación, la velocidad de rotación de las máquinas regresa a la velocidad síncrona. Por otra parte, una oscilación de potencia es inestable cuando, una o más máquinas no regresan a la velocidad síncrona, provocando una pérdida de sincronismo con el sistema [1, 2].

El modelo de dos fuentes que se muestra en Figura 1 es el más sencillo para analizar el fenómeno de oscilación de potencia [3]. La fuente de la parte izquierda tiene un ángulo que avanza hasta θ , este ángulo varía durante una oscilación de potencia.

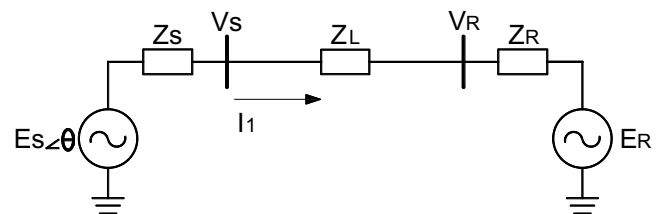


Figura 1.- Sistema representado mediante dos fuentes.

Visto en el plano de la impedancia, y asumiendo que ambas fuentes tienen la misma magnitud, la impedancia de secuencia positiva (Z_1) es igual a:

$$Z_1 = \frac{V_S}{I_1} = Z_T * \frac{E_S \angle \theta}{E_S \angle \theta - E_R} - Z_S \quad (1)$$

En donde, Z_T es la impedancia total del sistema, como se muestra en (2):

$$Z_T = Z_S + Z_L + Z_R \quad (2)$$

Cuando θ varía, la trayectoria de la impedancia Z_1 es una línea recta que corta ortogonalmente a la impedancia Z_T , como se muestra en la Figura 2. La intersección ocurre cuando la diferencia angular entre las dos fuentes es 180 grados. En ese instante, se dice que la máquina pierde un paso (slipped a pole), lo que marca el inicio de una condición de pérdida de sincronismo o pérdida de paso.

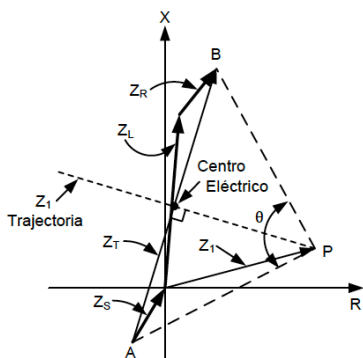


Figura 2.- Trayectoria de Z_1 durante una oscilación de potencia con fuentes de magnitudes desiguales.

III. PROTECCIÓN CONTRA OSCILACIONES DE POTENCIA

La función PSB (Power Swing Block) está diseñada para diferenciar entre oscilaciones de potencia y fallas eléctricas, de tal manera que cuando se presenta una oscilación de potencia, esta función bloquea a la protección de distancia y evita disparos no deseados en dichas condiciones. La función PSB evita la operación no deseada de las protecciones de los elementos del sistema y contribuye a que el sistema regrese a una condición estable tras una oscilación de potencia [2].

Existen diferentes métodos para detectar las oscilaciones de potencia. Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de técnicas más eficientes para la detección de oscilaciones de potencia [2, 4]. Algunos métodos recientes se basan en medir la tasa de cambio de la impedancia para determinar si el sistema está experimentando una oscilación de potencia [4, 5, 6]. La medición de fase sincronizada se ha propuesto como una manera de detectar y actuar ante oscilaciones de potencia [7]. Otros métodos aún requieren estudios que demandan un largo periodo de análisis.

En esta sección se presenta el método convencional para la detección de oscilaciones de potencia.

A. Método Convencional

Los métodos que utilizan la tasa de cambio de impedancia se basan en el principio de que la impedancia Z_1 viaja en el plano complejo a un ritmo relativamente lento, mientras que, durante una falla, Z_1 cambia casi instantáneamente desde el punto de carga al punto de falla.

La Figura 3 muestra un ejemplo de un esquema de doble limitador. Durante una oscilación de potencia, el relevador activa un temporizador que mide el tiempo que tarda en cruzar

la impedancia Z_1 a los márgenes (blindados) externo e interno. Cuando el intervalo de tiempo medido es mayor que un tiempo establecido, se considera una oscilación de potencia.

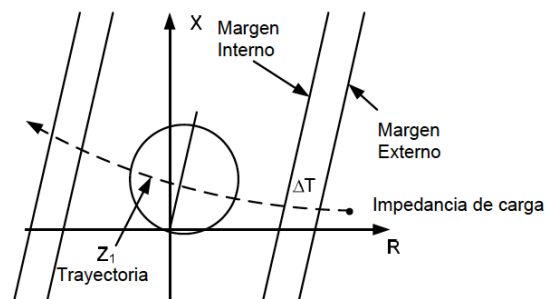


Figura 3.- Característica del margen de restricción doble (Dual-blinder characteristic).

IV. CONFIGURACIÓN DEL ESQUEMA DE BLOQUEO POR OSCILACIÓN DE POTENCIA

El método más seguro para configurar un elemento de protección contra las oscilaciones de potencia es utilizar los resultados de estudios de estabilidad. También se pueden configurar utilizando condiciones conocidas del sistema y haciendo ciertas suposiciones sobre el comportamiento del sistema de potencia.

Existen varias publicaciones que describen métodos para configurar los elementos contra oscilación de potencia a partir de parámetros conocidos del sistema [8, 9, 10, 11]. El uso de un método basado en la tasa de cambio de impedancia es efectivo en la mayoría de las aplicaciones, especialmente cuando no hay cambios significativos en las fuentes equivalentes, ni en la impedancia de los elementos de transmisión.

La referencia [3] describe un método para configurar los márgenes internos y externos del elemento de bloqueo por oscilación de potencia, este método considera las impedancias del sistema y la velocidad de deslizamiento durante la oscilación. La configuración de los márgenes resistivos se realiza de la siguiente manera:

1. Se selecciona el ángulo del margen interno para que este quede fuera de la zona de la protección de distancia.
2. Se selecciona el ángulo del margen exterior para que este quede dentro del límite de la carga. Se recomienda usar un intervalo entre los márgenes de aproximadamente 20% para garantizar una operación segura, como se muestra en la Figura 4.
3. Se determinan los márgenes resistivos utilizando los ángulos de potencia, como se indica a continuación:

Configuración del margen resistivo interno:

$$INBR = \frac{|Z_T|}{2 * \tan\left(\frac{\delta INB}{2}\right)} \quad (3)$$

Configuración del margen resistivo externo:

$$OTBR = \frac{|Z_T|}{2 * \tan\left(\frac{\delta OTB}{2}\right)} \quad (4)$$

Donde:

δINB Ángulo del margen interno

δOTB Ángulo del margen externo

- El tiempo del elemento de bloqueo por oscilación de potencia (PSB, por sus siglas en inglés) se determina a partir de los ángulos de márgenes resistivos y el deslizamiento estimado de oscilación de potencia como se indica a continuación:

$$PSBD = \frac{(\delta INB - \delta OTB) * f}{s * 360} \quad (5)$$

Donde:

$PSBD$ Configuración de tiempo del elemento PSB en ciclos.

f Frecuencia del sistema en Hz.

s Deslizamiento de oscilación de potencia en Hz.

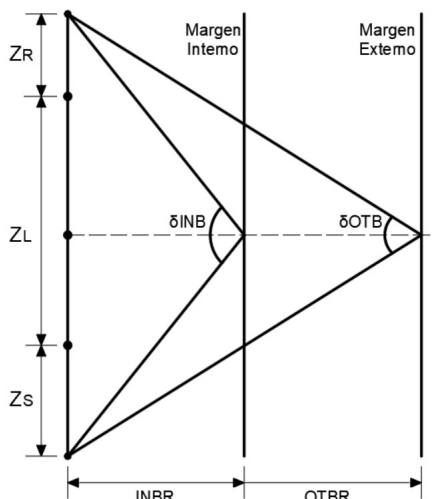


Figura 4.- Ángulos de los márgenes resistivos.

Se recomienda un retardo de PSB en el rango de 1.5 a 2.5 ciclos para evitar activaciones innecesarias del elemento PSB en condiciones normales del sistema.

V. SIMULACIÓN DEL BLOQUEO POR OSCILACIÓN DE POTENCIA

En esta sección se presenta un sistema de ejemplo (ver Figura 5) para evaluar el desempeño de un elemento PSB utilizando el método convencional basado en impedancias. El sistema consiste en dos fuentes conectadas a través de una línea de transmisión paralela.

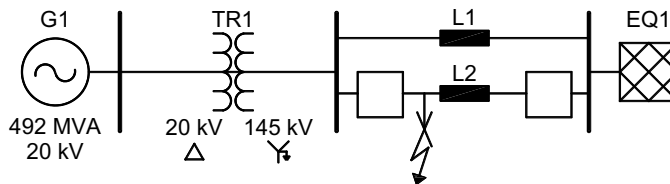


Figura 5. Sistema de ejemplo.

Se utilizó el software DlgSILENT® para determinar la impedancia equivalente de las fuentes y de la línea de transmisión, estos parámetros se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Impedancias del Sistema.

Parámetro	Valor [Ω Primarios]
Impedancia de secuencia positiva de L1	12.34∠79.38°
Impedancia de la Fuente 1 (G1)	2.10∠84.29°
Impedancia de la Fuente 2 (EQ1)	13.96∠90°

Los parámetros del sistema son:

Tabla 2.- Parámetros del Sistema.

Parámetro	Valor
Voltaje nominal	145 kV
Relación Transformador de Corriente	1000 A : 5A
Relación Transformador de Corriente	145 000V : 120V
Frecuencia del Sistema	60 hZ

El relevador PSB está ubicado en la terminal izquierda de la línea 2. Las zonas de protección de distancia (Zona 1 y Zona 2) están configuradas para cubrir hasta 80% y 120% de la impedancia de la línea, respectivamente.

Los ajustes del PSB se seleccionan de acuerdo con el método descrito en la sección anterior, se asume una tasa de oscilación máxima de 4 Hz, los ajustes son los siguientes:

- $INBR = 11.9 \Omega$
- $OTBR = 24.5 \Omega$
- $PSBD = 1.64$ ciclos

Se presenta la oscilación de potencia provocada por una falla trifásica en la línea L1 que se despeja después de 200 ms. El tipo de falla y el retardo en la eliminación de la falla causan la presencia de la oscilación de potencia. Esta condición se monitorea por el relevador ubicado en la línea L2, mientras ambos interruptores de la línea L1 están abiertos. La Figura 6 muestra el comportamiento del voltaje y la impedancia debido a una oscilación de potencia.

La oscilación de potencia provoca que la impedancia ingrese repetidamente a la zona de operación, como se muestra en la Figura 7. Esto podría causar un disparo no deseado si no se dispone de la función PSB, que es la encargada de bloquear la operación del elemento de distancia.

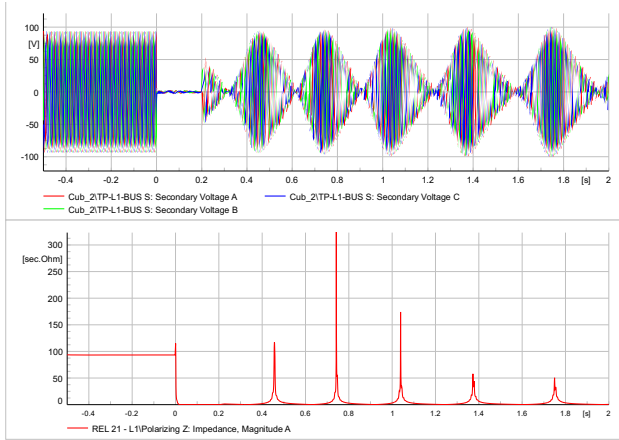


Figura 6.- Oscilación de Potencia.

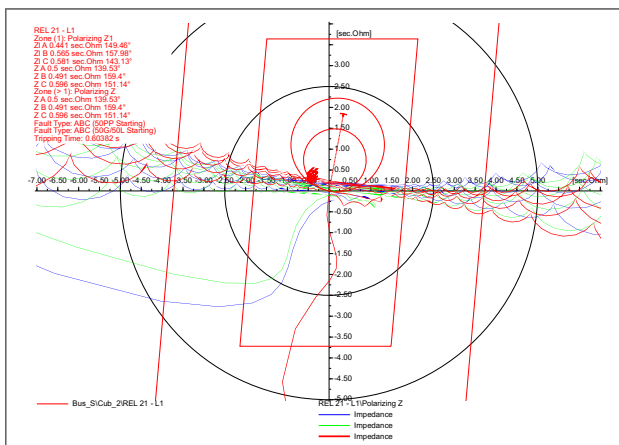


Figura 7.- Gráfica de la trayectoria de impedancia y características de los elementos de distancia y oscilación de potencia.

La Figura 8 muestra la señal de disparo del relevador de distancia en color rojo, esta señal indica múltiples disparos durante la oscilación de potencia. Además, también se muestra el disparo de bloqueo del elemento PSB (Señal color azul), que bloquea correctamente los disparos del elemento de distancia, evitando operaciones no deseadas del relevador.

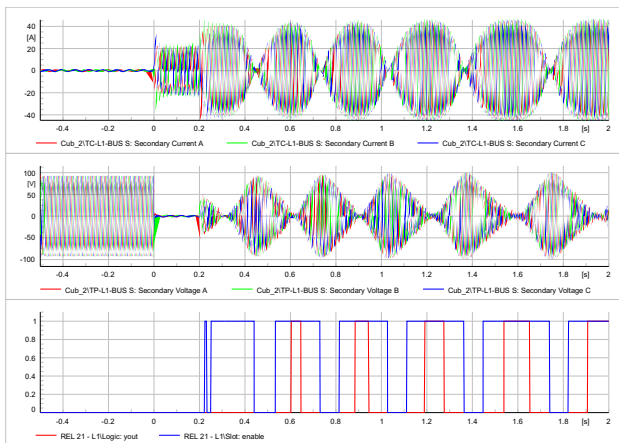


Figura 8.- Bloqueo por oscilación de potencia método convencional.

Con la simulación anterior, se muestra que el esquema PSB configurado con el método de impedancia, es capaz de detectar

una condición de oscilación de potencia y bloquea a los elementos de distancia correctamente.

VI. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta de manera general el esquema convencional de bloqueo por oscilaciones de potencia basado en impedancias. Este método se basa en el uso de la impedancia de las fuentes equivalentes y en la estimación de una tasa de deslizamiento de potencia.

Los resultados obtenidos son correctos, ya que se detecta la oscilación de potencia y se bloquea correctamente la operación de los elementos de distancia, evitando una operación no deseada del relevador.

Cabe mencionar que este método se aplicó en un sistema de prueba simplificado, ya que su aplicación en un sistema real requiere considerar todas las condiciones operativas para determinar la impedancia de las fuentes equivalentes y determinar la tasa de deslizamiento de oscilación de potencia, lo cual resulta más complejo. Por ello, en la actualidad se recomienda emplear métodos independientes de los parámetros del sistema, los cuales pueden ser más eficientes en su operación.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Fischer, G. Benmouyal, D. Hou, D. Tziouvara, J. Byrne-Finley y B. Smyth, «Tutorial on Power Swing Blocking and Out-of-Step Tripping,» de *39th Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, Washington, 2012.
- [2] D. Hou, G. Benmouyal y D. A. Tziouvaras, «Zero-setting power-swing blocking protection,» *The Institution of Engineering and Technology*, pp. 1-29, 2005.
- [3] J. Mooney y N. Fischer, «Application Guidelines for Power Swing Detection on Transmission Systems,» de *42nd Annual Minnesota Power Systems Conference*, Saint Paul, Minnesota, 2006.
- [4] J. Holbach, «New Out-of-Step Blocking Algorithm for Detecting Fast Power Swing Frequencies,» de *Proceedings of the 29th Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, WA, 2003.
- [5] I. G. Tekdemir y B. Alboyci, «A Novel Approach for Improvement of Power Swing Blocking and Deblocking Functions in Distance Relays,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, n° 4, pp. 1986-1994, 2017.
- [6] A. L. P. de Oliveira y G. Steynberg, «Secure protection against synchronous and asynchronous power swings,» *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America*, pp. 1-6, 2008.
- [7] E. O. Schweitzer, G. Benmouyal y A. Guzmán, «Synchronized Phasor Measurement in Protective Relays for Protection, Control, and Analysis of Electrical Power Systems,» de *Proceedings of the 29th Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, WA, 2002.
- [8] IEEE PSRC WG D6, «Power Swing and Out-of-Step Considerations on Transmission Line,» 2005.
- [9] D. Hou, S. Chen y S. Turner, «SEL-321-5 Relay Out-of-Step Logic,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Application Guide AG97-13,, 1997.
- [10] SEL, «SEL-421 Relay Instruction Manual,» 2005.
- [11] ABB, «ABB REL 531*2.5, Application Manual, ProtectIT Line High Speed Distance Protection Terminal, Document No. 1MRK 506 178-UEN, December,» 2003.