

Compensación Serie en Sistemas Eléctricos de Potencia y su Relación con la Resonancia Subsíncrona

Cesar Castillo Cáceres, Msc.¹, Walter Castellanos Vilca, Msc.², Marcelo Quispe Ccachuco, Dr.³,
Deidamia Chani Ollachica, Msc.⁴

¹Universidad Católica de Santa María, Perú, ccastill@ucsm.edu.pe

²Universidad Nacional de San Agustín, Perú, Walter_aqv@hotmail.com

³Universidad Católica de Santa María, Perú, mquispec@ucsm.edu.pe

⁴Universidad Católica de Santa María, Perú, dchani@ucsm.edu.pe

Resumen– El presente trabajo plantea el análisis conceptual de la incidencia de los equipos de compensación serie y su relación con la resonancia subsíncrona, resaltando las ventajas y desventajas del uso de estos equipos y su influencia en cuanto a la ubicación de los mismos dentro de un sistema eléctrico de potencia. Así mismo, se plantea la importancia de realizar análisis específicos de resonancia subsíncrona durante las fases de planificación de proyectos de inserción de compensadores serie en líneas de transmisión eléctrica de gran longitud, haciendo hincapié en la influencia que tienen los equipos de compensación serie sobre los turbogeneradores cercanos a dichas instalaciones. Por otra parte, se plantea también el uso de mecanismos de mitigación de los efectos de resonancia subsíncrona que se vienen estudiando actualmente, tales como el uso de compensadores serie controlados por tiristores (TCSC), reconfiguración del nivel de compensación de los bancos de capacitores serie y estabilizadores dinámicos.
Palabras clave – Compensación serie, frecuencia síncrona, oscilaciones amortiguadas, resonancia subsíncrona, estabilizadores dinámicos.

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema de potencia es una función de orden multivariable [1], en la cual, la respuesta dinámica es influenciada por una amplia gama de dispositivos con diferentes características y tiempos de respuesta. Por lo tanto, la estabilidad es una condición de equilibrio entre fuerzas opuestas activas en ese sistema, en donde existe una dependencia de la topología de la red, de las condiciones operativas y de la forma y magnitud de los disturbios que puedan ocurrir ocasionando un desequilibrio sostenido que conduce a la inestabilidad. De este modo, el análisis de la estabilidad, incluye la identificación de factores que contribuyen a la inestabilidad para idear métodos que mejoren la operación estable, facilitando enormemente su clasificación en categorías apropiadas.

La compensación reactiva serie en las líneas de transmisión de gran longitud podrían generar problemas de resonancia subsíncrona, afectando a los turbogeneradores que se encuentran eléctricamente cerca a estos compensadores. Así mismo, la cercanía a líneas de transmisión de 500kV a más, podría generar problemas de resonancia en las centrales

cercanas a dichas líneas, generando problemas de estabilidad transitoria [2].

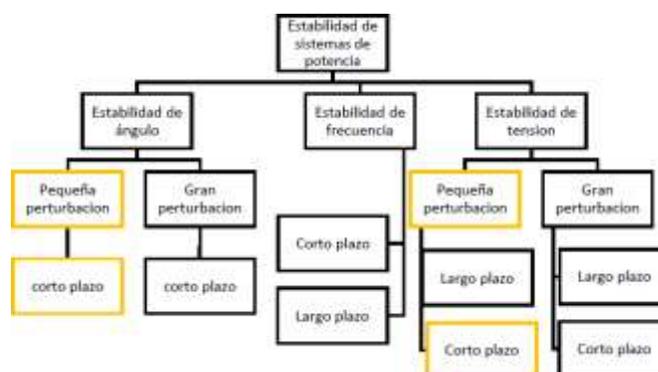


Fig. 1 Clasificación de análisis de estabilidad

Compensación Serie

Los capacitores serie son aplicados para reducir la reactancia inductiva en las líneas de transmisión. Los beneficios de aplicar capacitores serie en una línea de transmisión incluye mejorar los márgenes de estabilidad, mucho mejor división de la carga en las vías en paralelo, habilidad de ajustar los niveles de carga de la línea, reducir las pérdidas de transmisión, y reducir la caída del voltaje en el sistema durante disturbios severos [3].

La Resonancia Subsíncrona

En base a la resonancia subsíncrona se estudia la inestabilidad de las oscilaciones torsionales de turbogeneradores conectados a través de líneas con compensación serie. Una línea eléctrica con compensación serie tiene instalado un condensador en serie con la línea.

La compensación serie se utiliza para reducir la reactancia inductiva de la conexión de un generador a una red cuando la longitud de las líneas de conexión es muy grande [4]. La resonancia subsíncrona puede ocurrir cuando la frecuencia natural de oscilación de la línea con compensación serie está próxima a una de las frecuencias de las oscilaciones torsionales del rotor de un turbogenerador.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Capacitores en Serie

Se conectan en serie con los conductores de la línea para compensar su reactancia inductiva. De esta manera se reduce la reactancia de transferencia entre las subestaciones de envío y recepción [5], con lo cual se incrementa la potencia transmitida y se reduce las pérdidas de potencia reactiva ($X \cdot I^2$).

Es un equipo de compensación reactiva autorregulante, que incrementa su potencia reactiva incrementando la capacidad de transmisión.

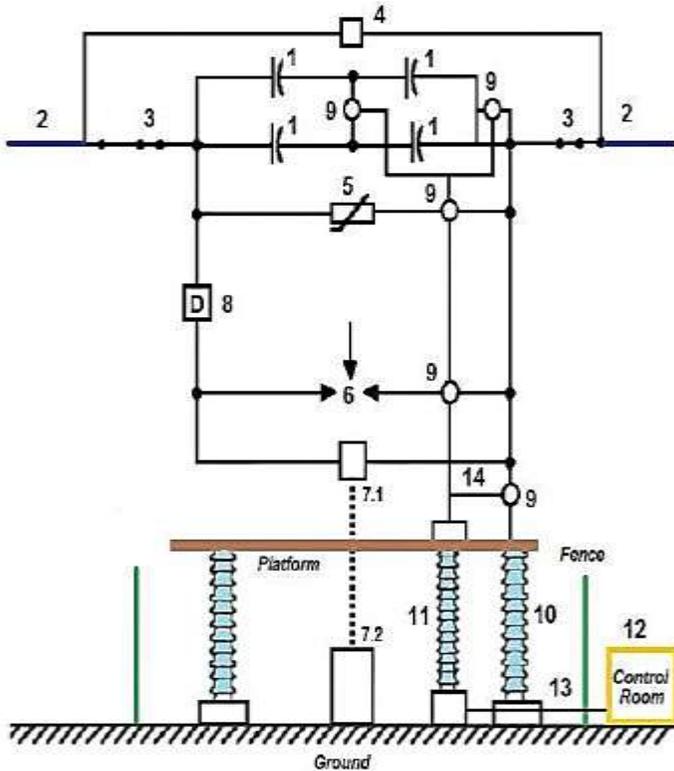


Fig. 2 Esquema típico de un banco de capacitores en serie

Los capacitores en serie con la línea de transmisión reducen la impedancia total de la línea, incrementa la capacidad de transmisión, mejora la estabilidad permanente y transitoria del sistema [6].

El Varistor de óxido metálico (MOV) es el principal dispositivo que limita el voltaje a través del banco de condensadores a un valor seguro, desviando la corriente de falla. Son semiconductores que conducen por encima de un voltaje específico (voltaje de nivel de protección).

Puede manejar una corriente muy alta durante periodos cortos de tiempo y proteger los condensadores hasta que se establezca otra ruta de derivación [7],[8].

En nuestro caso para los efectos de la compensación serie, se utilizó un Banco de Condensadores En Serie BCS con una reactancia determinada.

III. RESULTADOS

Empleando el software de Análisis de < sistemas de Potencia WINFLU Power Flow, se ha efectuado la simulación, con una falla bifásica franca a tierra, con apertura definitiva del circuito.

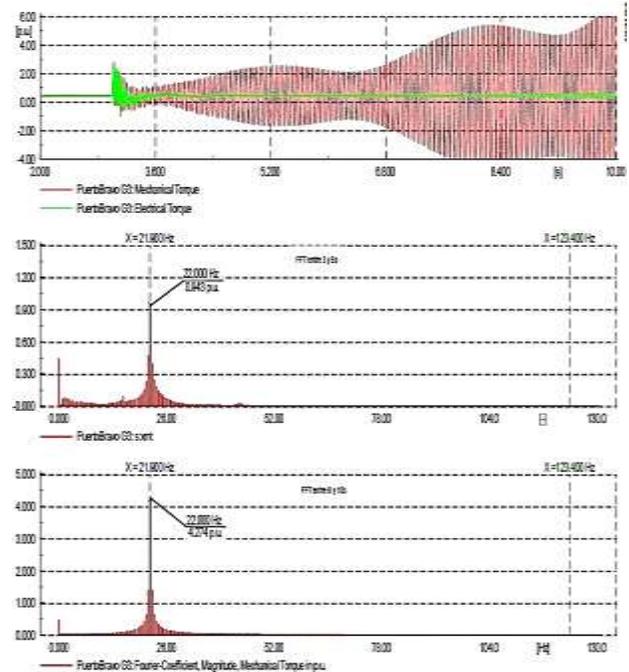


Fig. 3 Torque eléctrico y mecánico de una unidad TG con el BCS en servicio.

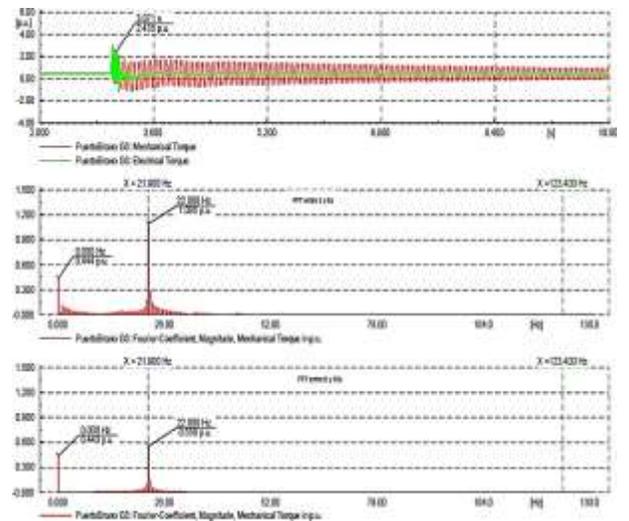


Fig. 4 Torque eléctrico y mecánico de una unidad TG con el BCS desconectado

IV. DISCUSIÓN

El análisis se basa en los siguientes pasos:

Efectuar un barrido de frecuencia para obtener la impedancia vista desde el rotor de los generadores en función de la frecuencia $Z(f)$. Identificar a qué frecuencias se presentan resonancias eléctricas.

Identificar frecuencias torsionales, verificando la proximidad con las frecuencias naturales complementarias de los ejes de las unidades.

Efectuar un estudio de transitorios electromagnéticos, simulando eventos para evidenciar los fenómenos de amplificación torsional.

CONCLUSIONES

Se mostró la incidencia del uso de equipos de compensación serie en sistemas eléctricos de potencia y su relación con la resonancia subsíncrona, la cual como se indicó, debe evaluarse durante la planificación de nuevos proyectos de inserción de compensadores serie.

Se conceptualizó el problema de la compensación de reactivos en serie, encontrándose modos de inestabilidad que surgen debido a la inserción de líneas de transmisión de gran longitud, estos problemas de inestabilidad se generan también por efectos de los reactores de potencia, los que generan de acuerdo a su ubicación en el sistema, estados de operación cercanos al punto crítico de estabilidad.

Se establecieron criterios de correlación entre una línea de transmisión de gran longitud y la compensación serie, comprobándose que existen problemas de resonancia subsíncrona cuando hay una cercanía eléctrica con líneas de transmisión de gran longitud compensadas de forma serial. Las oscilaciones electromecánicas son oscilaciones mecánicas de 1 Hz en las que todas las masas del turbogenerador oscilan al unísono. Los rotores de los turbogeneradores presentan oscilaciones torsionales en el margen de frecuencias subsíncrono es decir que son inferiores a la frecuencia fundamental (60 Hz).

La ubicación de los compensadores serie influye directamente en los fenómenos de resonancia subsíncrona, éstos deben ser ubicados en base a un criterio de análisis previamente elaborados, revisados y simulados para evitar los problemas de resonancia subsíncrona en un sistema de potencia.

REFERENCIAS

- [1] J. Benavides Eraso, D.M. (2008), Análisis del método de continuación para el estudio de estabilidad de tensión. UTP – Colombia.
- [2] Palacios, G. A. (2017), Guía para el modelado de estabilidad en sistemas eléctricos de potencia. Bogota: Universidad de la Salle.
- [3] T. Wildi, T. (2012). Maquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia. Pearson.
- [4] Christol Sihler, S. S. “Torsional mode damping for electrically driven gas compression trains in extended variable speed operation” , GE Energy Applications and system Engineering.
- [5] P. M. Anderson, B.L. (1990). Subsynchronous Resonance in Power Systems. IEEE PRESS.
- [6] Kundur, P. (1994). Power System Stability and Control. New York; McGraw Hill.
- [7] Arriaga, J.P. “ Selective Modal Analysis with Applications to Electric Power Systems”. Massachusetts Institute of Technology. Department of electrical engineering and control science.
- [8] P. K. (1993). Power System Stability and Control. McGraw Hill.
- [9] N. I. Yousif (2011). Subsynchronous Resonance Risk Assessmente in Interconnected Power System. School of Electrical and Computer Engineering RMIT University.
- [10] C.E.Bowler, D.B. (1978). Operation and test of the Navajo SSR Protective Equipment. IEEE Transactions.
- [11] Rodríguez, M.V. (2009). Estudio de la resonancia subsincrona. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.