



Diseño del Control y Simulación de un Compensador Serie TCSC

Fernando Cueva Urgilez⁽¹⁾, Juan Carvajal Zambrano⁽²⁾, Sífifo Falcones Zambrano⁽³⁾.
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-01-5963. Guayaquil. Ecuador
elecservi@hotmail.com⁽¹⁾, juanitocar83@hotmail.es⁽²⁾, sixifo@espol.edu.ec⁽³⁾.

Resumen

El presente proyecto se basa en la simulación de un dispositivo de compensación serie llamado "TCSC" (Control de un Capacitor Serie Controlado por Tiristores), el cual es muy utilizado para mejorar características de calidad de energía de una Red de Transmisión Eléctrica en Media y Alta Tensión; tales como flujo de potencia, factor de potencia e impedancia de línea. Se va a proceder a explicar los diferentes modos de operación del TCSC y vamos a tomar como caso de estudio el control de flujo de potencia mediante la variación de la impedancia de línea; para ello se realizarán cálculos matemáticos basados en fundamentos teóricos de Control Automático, mediante los cuales se modelará una planta para su análisis en lazo abierto, obteniendo características del sistema mediante datos arrojados y analizados mediante interpolación, para agregarlos en el posterior análisis en lazo cerrado, determinando así la respuesta del sistema es decir si el sistema es estable o no es estable y finalmente comparar los resultados obtenidos en la simulación con los determinados mediante la teoría. El simulador a utilizar es el reconocido software Matlab y su herramienta Simulink, el cual nos permitirá ingresar valores al sistema y observar su respuesta para su posterior análisis.

Palabras claves: *Control de flujo de potencia, Análisis Lazo Abierto y Cerrado, Matlab/Simulink.*

Abstract

This project is based on the simulation of a series compensation device called "TCSC" (Control of Thyristor Controlled Series Capacitor), which is widely used to improve power quality characteristics of Electricity Transmission Network in Media and high Voltage, such as power flow, power factor and line impedance. It will proceed to explain the different operating modes of the TCSC and we will take as a case study the power flow control by varying the line impedance, for it will be made mathematical calculations based on theoretical foundations of Automatic Control, by which a plant modeled for analysis of open loop characteristics of the system by obtaining data obtained and analyzed by interpolation, to add in the subsequent closed-loop analysis, determining the system's response is, if the system is stable or not stable and ultimately comparing the results obtained in the simulation with those determined using the theory. The simulator is recognized using Matlab software and Simulink tool, which will allow us to enter values into the system and observe your response for further analysis.

Keywords: *Power Flow Control, Open and Closed Loop Analysis, Matlab/Simulink.*



Introducción

En éste capítulo se describe el porqué de la creación de los FACTS cuales fueron los motivos técnicos, económicos, prácticos y otros que incentivaron a buscar de qué manera se podía mejorar la calidad de la energía.

Pero en si este trabajo está enfocado en el funcionamiento del compensador serie TCSC, ya que este ayuda a mitigar las falencias en la transferencia de potencia, lo cual es un problema en nuestro país y se lograra mejorar esto con la instalación de uno de estos compensadores.

Objetivos:

- Dimensionar correctamente los elementos principales del compensador TCSC de tal forma que se obtenga el 75% de compensación del valor de la impedancia de la línea de transmisión.
- Diseñar el controlador del Compensador Serie Controlado por Tiristores (TCSC) de tal manera que sea estable y siga la referencia con buena respuesta dinámica.
- Verificar mediante simulaciones que el TCSC puede ayudar a incrementar la capacidad de transmisión de potencia del sistema en consideración según se describe en la teoría.
- Verificar mediante simulaciones que el TCSC mantiene el flujo de potencia constante ante la presencia de perturbaciones en la fase y magnitud del Voltaje de generación (V_1) del sistema según se describe en la teoría.

Cabe recalcar como en se dijo en uno de los objetivos este proyecto solo va hacer simulado mas no implementado, pero teniendo en cuenta que la simulación nos da una buena perspectiva de cómo funcionaría si se implementara, ya que los datos obtenidos son bastante cercanos a los reales.

1. Descripción del Problema

Los dispositivos FACTS dan solución a problemas de estado estacionario y dinámico, debido al gran número de ventajas que éstos presentan sobre los dispositivos de conmutación mecánica.

Además dar especial énfasis en breves rasgos el funcionamiento y aplicación de un FACTS en particular que es el TCSC (compensador serie controlado por Tiristores), ya que la compensación serie en sistemas de transmisión ya ha sido utilizado hace varios años en varios países de todo el mundo, dando buenos resultados tanto a las empresas generadoras de energía eléctrica como a los usuarios.

1.1. Historia de los FACTS

Las limitaciones básicas de la transmisión de potencia a corriente alterna (distancia, estabilidad y control del flujo), que ha ocasionado una subutilización de líneas de transmisión y otros activos, así como el potencial de mitigar estas limitaciones mediante compensación controlada, fueron los incentivos necesarios en la última parte de la década de los ochenta para introducir la electrónica de potencia en el control de potencia reactiva.

El costo de líneas de transmisión, así como las dificultades que se presentan para su construcción, su localización, derecho de vía, etc., a menudo limitan la capacidad de transmisión, trayendo como consecuencia que se presenten casos en los que no se puede disponer de la energía de menor costo.

Mediante el uso de la tecnología FACTS se puede controlar el flujo de potencia y mejorar la capacidad útil de las líneas de transmisión. Estos dispositivos permiten controlar la corriente en una línea a un costo relativamente bajo comparado con lo que representa su construcción, esto abre nuevas expectativas para incrementar la capacidad de las líneas ya existentes y/o controlar el flujo de potencia a través de ellas.

Un dispositivo FACTS bien seleccionado y bien ubicado puede disminuir las limitaciones específicas de una línea. Tal es el caso del compensador serie TCSC que es un compensador muy utilizado porque ayuda a solucionar problemas de flexibilidad de una línea de transmisión, en la Fig. 1 se muestra como debe ser ubicado en la línea de transmisión. [1]

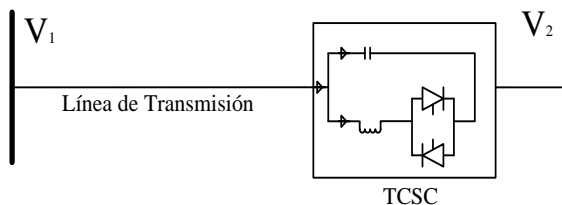


Fig. 1. Diagrama unifilar de la instalación TCSC en una línea de transmisión.

1.2. Justificación y alcance del proyecto

El compensador TCSC es un dispositivo muy utilizado en la compensación serie de los sistemas de transmisión, lo que se quiere lograr es diseñar y simular un compensador de este tipo en MATLAB, las simulaciones obtenidas son de gran ayuda ya que es un software muy utilizado a nivel mundial y sus resultados son de gran validez si se quisiera implementar.

La simulación va a dar una mejor visión de cómo funciona realmente este compensador ya que esta tecnología a pesar de no ser nueva en otros países en nuestro país todavía no ha sido implementada ya que su costo económico es muy alto.

Se tomó este compensador para su estudio ya que en nuestro país el sistema de transmisión de energía eléctrica presenta muchas fallas, este compensador sería de gran utilidad porque ayudaría a un mejor control de corriente, amortiguamiento de oscilaciones, estabilidad transitoria y transmisión de Potencia.

Claro está que su ubicación debe ser correctamente bien estudiada y planificada para que la ayuda que brinde este compensador a la línea de transmisión sea óptima.

Se va a diseñar el circuito en general en Matlab-Simulink utilizando todas las herramientas que este programa ofrece, lo cual implica el controlador, lo que vendría a ser la línea de transmisión y el compensador serie TCSC en modo Boost capacitivo que es el más usado.

2. Fundamento teórico

En este capítulo se va a presentar la teoría de los tipos de compensadores de manera general y posteriormente nos vamos a centrar en el compensador TCSC, empezando por el concepto de transmisión de energía, entendiendo y analizando su funcionamiento, inconvenientes y las posibles soluciones que técnicamente se puedan realizar para corregir parámetros que presenten fallas como estabilidad dinámica, flujo de potencia, impedancia de la línea, entre otras.

Al estudiar el TCSC, presentaremos sus diferentes comportamientos y mediante ecuaciones y graficas se procederá a explicar sus diferentes modos de operación. Posteriormente se hará un análisis de la línea de transmisión aplicando un compensador TCSC.

Finalmente se detallara como se hace el control de flujo de potencia mediante la variación de la impedancia equivalente de la línea al realizar una compensación llamada serie. Para ello se presentaran ecuaciones, deducciones y graficas que nos permitirán llegar a entender el comportamiento, para poder presentarlo de manera matemática y luego proceder a su modelado en el capítulo posterior [2].

3. Dimensionamiento del TCSC

En este capítulo se presentara los datos de la planta a estudiar y se realizara el cálculo de los parámetros del sistema, de tal manera que se ajuste a los requerimientos planteados. Para ello se realizara el modelado respectivo, para posteriormente luego de los resultados que arroje aplicar el control adecuado, este análisis lo haremos aplicando técnicas de control automático.

Se analizará el sistema en lazo abierto, para observar la respuesta a una señal de entrada de tipo escalón y según eso tomar datos de la planta y verificar su linealización, en el siguiente capítulo se analizara en lazo cerrado.

3.1. Parámetros de la línea de transmisión y del TCSC

En la fig. 2 se puede observar cómo está formada la línea de transmisión a compensar, en primera instancia tenemos un voltaje de generación V_1 a una fase δ_{V_1} , la impedancia de la línea que está conformada por una resistencia R_L y una inductancia L_L , que son propias de la red y que posteriormente serán presentadas para efecto de cálculos, el compensador serie TCSC y un voltaje V_2 de recepción a una fase δ_{V_2} .

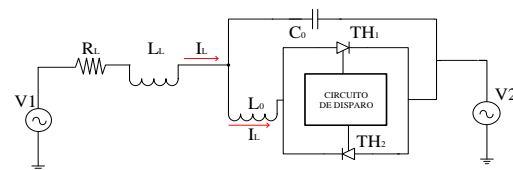


Fig. 2. Diagrama esquemático del TCSC en una línea de transmisión.

El compensador serie TCSC tiene como capacitancia fija C_0 , así mismo una inductancia L_0 que es la que procede a dar variación en el valor de la impedancia del TCSC mediante el encendido o apagado de los tiristores. En un circuito real se tiene una resistencia R_0 en serie con la inductancia, pero en este caso no se la toma en cuenta para el análisis porque se asume su valor como despreciable [3].

3.1.1. Descripción del circuito

Este compensador TCSC se coloca en una línea de 530kV, y se lo utiliza para mejorar la transferencia de potencia de una barra a otra. Sin el TCSC la transferencia de energía en esta línea de transmisión a simular es de alrededor de 202 MW.

El TCSC consta de un condensador fijo en paralelo con un TCR (inductor controlado por tiristores) en cada fase.

El TCSC puede funcionar en modo capacitivo o inductivo, aunque este último se utiliza raramente en la práctica. Dado que la resonancia de este TCSC está alrededor de un ángulo de encendido de 58° , la operación está prohibida en el campo de disparo para ángulos que estén entre $49^\circ - 69^\circ$, para así evitar los efectos de la resonancia.

La impedancia es menor en 90° y por lo tanto la transferencia de potencia aumenta a medida que el ángulo de disparo se reduce. En el modo capacitivo el rango de valores de impedancia es de aproximadamente de 122 a 135Ω .

Este rango de impedancia que se puede obtener insertando el TCSC en la línea va a permitir un rango de 780-1160MW de transferencia de energía (alcanzando hasta un 110% de compensación). En comparación con la transferencia de potencia de 202 MW de la línea sin compensar, el TCSC permite una mejora significativa en el nivel de transferencia de energía de hasta aproximadamente 6 veces más. El TCSC está en el modo de control de impedancia capacitiva y la impedancia de referencia se establece en 127.5Ω .

4. Diseño del control del TCSC

Como ya se mencionó en el capítulo II el tipo de control a aplicar en este trabajo va a ser el control de flujo de potencia, en este capítulo se procederá al cálculo del controlador, esto se lo realizara por medio del método del Factor K.

Se procederá a realizar las gráficas de los diagramas de bode en magnitud y fase mediante el simulador de Matlab, para obtener los resultados de la ganancia del lazo del sistema que equivale a la ganancia del controlador porque la ganancia de la planta es 1.

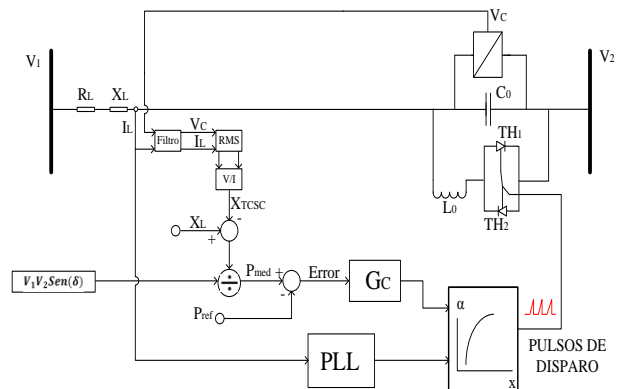


Fig. 3. Diagrama en bloques de la estructura del compensador TCSC.

4.1. Análisis del sistema en lazo abierto

El sistema en lazo abierto recibe la impedancia de entrada como parámetro, este valor ingresa a un bloque llamado función inversa que convierte de impedancia a ángulo de disparo α , este ángulo dispara los tiristores los cuales van a dar una impedancia equivalente en el compensador (X_{TCSC}).



Por lo tanto al final con este valor de impedancia obtenemos la potencia que entrega la línea mediante un bloque de cálculo de esta potencia, para así realizar una tabla de valores que nos permita mediante un bloque de interpolación la relación matemática entre la potencia y la impedancia la cual será usada por el controlador en lazo cerrado, el diagrama de bloques del sistema en lazo abierto es el que se muestra en la fig. 4.



Fig. 4. Diagrama en bloques del sistema en lazo abierto.

4.2. Análisis del sistema en lazo cerrado

En la fig. 5 se presenta el diagrama esquemático del sistema de control aplicado. Se puede observar en este diagrama esquemático como se aplica el control integral al error, en nuestro sistema basta con un control de tipo integral ya que es un sistema sin dinámica. El bloque del controlador es lo que se aumenta al diagrama de bloques de la fig. 6 , además se cierra el lazo para obtener el diagrama en lazo cerrado del sistema y así poderlo controlar, como se muestra en la fig. 7.

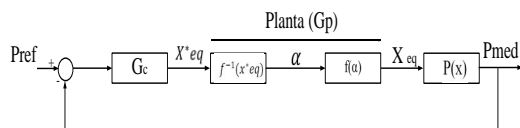


Fig. 5. Diagrama de Bloques del sistema en lazo cerrado.

4.2.1. Diseño del controlador por el método del factor K

Ya que la ganancia de la planta es igual a la linealización de las funciones y a su vez esto da como resultado la unidad, razón por lo cual para hallar el valor del controlador necesitamos la ganancia de lazo

$$G_L(s) = G_C(s)G_P(s). \quad (1)$$

Como resultado de que la ganancia de la planta es igual a 1,

$$G_P(s) = 1. \quad (2)$$

Con lo cual tenemos:

$$G_L(s) = G_C(s). \quad (3)$$

Una vez obtenido el valor de la ganancia de la planta (G_P) también se necesita saber nuestro margen de fase del sistema φ_{sys} , y debido a que G_P es una constante, el $\varphi_{sys} = -90^\circ$, con lo cual se puede hallar nuestro φ_{boost} , el mismo que es igual a:

$$\varphi_{boost} = PM - \varphi_{sys} - 90^\circ \quad (4)$$

Producto de que ganancia de la planta (G_P) es 1, la ganancia de lazo va a ser igual a la ganancia del controlador entonces por el método del factor k tenemos un valor de $\varphi_{boost} = 0$, esto implica tener un controlador de tipo I, el cual se trata de un control tipo integral.

La frecuencia de corte (f_c) va a ser 6Hz, se escoge este valor porque la frecuencia fundamental de conmutación de la línea es de 60Hz, y la frecuencia de corte debe de estar una década antes.

Entonces como el controlador de nuestro sistema es de Tipo I la ecuación a utilizar para hallar el controlador es:

$$G_C = \frac{K_C}{s}. \quad (5)$$

Para hallar la ganancia del controlador integral K_C , se divide la frecuencia de corte ω_C para la constante del sistema K_{SYS} .

$$K_C = \frac{\omega_C}{K_{SYS}}. \quad (6)$$

5. Simulación del TCSC

En este capítulo vamos a explicar cada uno los bloques utilizados en nuestro circuito de Matlab que se ve en la fig. 6, además procedemos a realizar las pruebas necesarias a nuestro sistema para verificar el comportamiento planteado en la teoría, pero nos vamos centrar en primera instancia en el control de flujo de Potencia ya que ese es el primer objetivo planteado en nuestro proyecto.

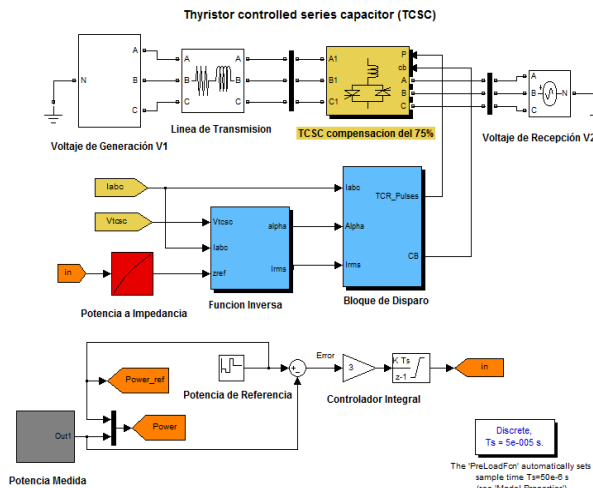


Fig. 6. Modelo en Matlab/Simulink del sistema completo.

Las pruebas a realizarse serán primeramente una variación en la potencia de referencia, otra prueba será una vez obtenida una potencia de transmisión en el punto de operación del

compensador, se variara la magnitud y fase del voltaje de generación (V1) para observar el comportamiento del compensador TCSC el cual debe aumentar o disminuir su impedancia equivalente según las condiciones del sistema.

5.1. Bloques del circuito de fuerza de Matlab

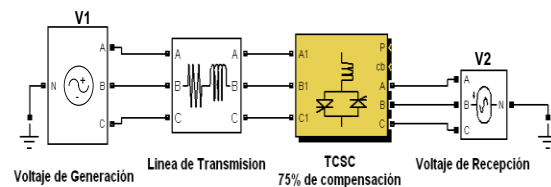


Fig. 7. Bloques del sistema de fuerza en Matlab.

El bloque de voltaje de generación (V1) de la fig. 7 tiene internamente algunos bloques los cuales ayudan a obtener el valor de voltaje trifásico de generación deseado y la fase de cada una de las líneas.

Además posee adicionalmente otros bloques que ayudan a causar las perturbaciones deseadas en la fase ($\delta 1$) y magnitud V1 para realizar las pruebas respectivas en el sistema y comprobar el correcto funcionamiento del controlador integral, el compensador TCSC y el circuito en general.

El bloque línea de transmisión de la fig. 8 simulara la línea de transmisión con un valor de inductancia L_L y una resistencia R_L los cuales se ingresan como parámetros tomando en consideración que por la extensión de una línea de transmisión este valor de inductancia L_L es alto y la resistencia R_L pequeña.

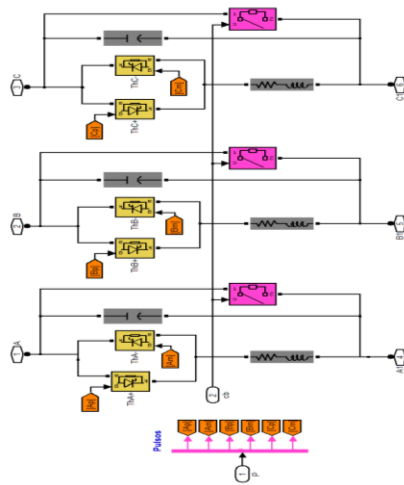


Fig. 8. Circuito interno del bloque del compensador TCSC.

El interruptor está en paralelo con el módulo TCSC como se puede observar en la fig. 8, que entra a operar en el momento que el respectivo bloque de control del TCSC detecta una falla en el funcionamiento del compensador, el bloque de disparo manda una señal CB que acciona este interruptor.

Este interruptor cortocircuita al módulo TCSC dejándolo inoperante ante la línea evitando así que si un módulo del TCSC falle no haga que este deje una línea sin funcionar.

El voltaje de recepción (V2) que tiene como parametros la magnitud del voltaje RMS, fase y frecuencia se le asignan valores de acuerdo a lo que deseamos que nuestro circuito opere. Este voltaje esta desfasado con respecto al voltaje de generación (V1) un angulo delta (δ).

5.2. Bloques de control del circuito

Este conjunto de bloques de la fig. 4 son los que hacen la parte de control del proyecto ya que según la fig. 5 del diagrama de bloques en lazo cerrado muestra que un error de potencia entra al controlador integral. La salida

de este va hacia un bloque interpolador que recibe potencia y da valores de impedancia, esta impedancia entra a un bloque llamado funcion inversa y este bloque da un angulo α el mismo que va al bloque de disparo de los tiristores del compensador TCSC.

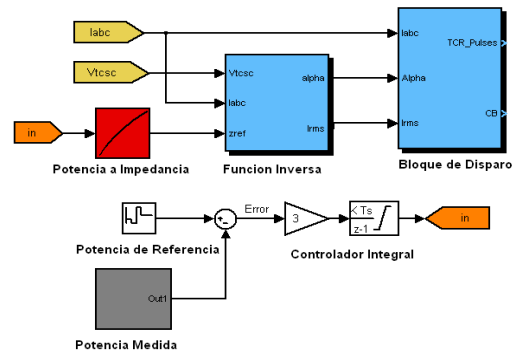


Fig. 9. Bloques de control del circuito.

Como ya sabemos según el angulo de disparo de los tiristores este compensador nos va a entregar una impedancia equivalente X_{TCSC} que en conjunto tanto el bloque de disparo y el bloque del compensador nos da el bloque de la funcion “F”, que se ve en la fig. 9 Esta impedancia X_{TCSC} es la que va a servir para calcular la potencia transferida.

5.3. Pruebas del sistema

Se va a realizar 3 tipos de pruebas, la primera variar la potencia de referencia para ver como el controlador sigue a esta referencia, la segunda ingresar una perturbación en la fase del voltaje de generación (V1) manteniendo la potencia de referencia constante, la ultima ingresar una perturbación en la magnitud del voltaje de generación (V1) asi mismo manteniendo la potencia de referencia constante, las graficas que se van a presentar de voltajes, corrientes y potencias son en estado estable.

5.3.1. Prueba control de flujo de potencia

Para esta prueba en el bloque de potencia de referencia se va a variar la magnitud de esta potencia cada tres segundos a su valor máximo y mínimo de potencia que este compensador puede ayudar a transmitir para observar como el controlador responde ante esta variación.

Ademas las graficas de la fig. 10 muestran el voltaje de compensador TCSC, la corriente de línea en estado estable y la corriente que circula por los tiristores cuando estos estan encendidos, ademas se puede comprobar lo dicho en la teoria, como el compensador esta operando en modo capacitivo el voltaje de este esta desfasado 90° con respecto a la corriente de línea.

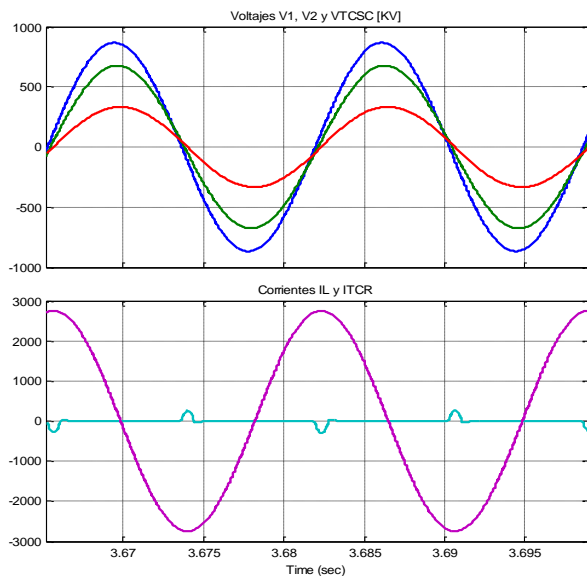


Fig. 10. Voltajes de generación V1, de recepción V2, VTCSK, corriente de línea y del TCR.

Para esta prueba se va a mantener constante las magnitudes de V1 y V2, el ángulo delta (δ) y la reactancia inductiva X_L . La única variable que esta propensa a cambiar es la reactancia del TCSC (X_{TCSC}), sobre la cual el controlador trabajara.

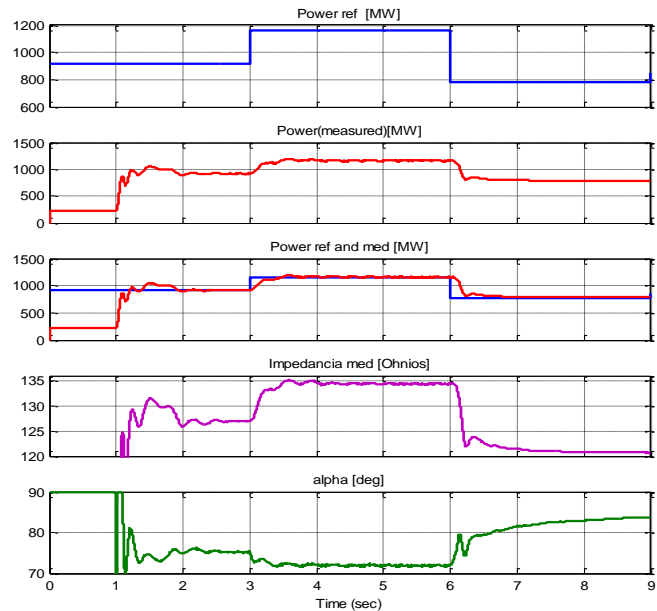


Fig. 11. Potencia de referencia, potencia medida, impedancia del TCSC y ángulo de disparo.

Como era de esperarse si varía la impedancia equivalente del compensador TCSC es porque también cambia el ángulo de disparo α como se puede observar en la última grafica de la fig. 11, donde se muestra lo esperado porque si aumenta la impedancia del TCSC α disminuye y si disminuye la impedancia del TCSC α aumenta.

5.3.2. Prueba perturbación en la fase (δ) del voltaje de generación (V1)

En esta prueba se causa una perturbación en la fase (δ) del voltaje de generación manteniendo la potencia de transmisión constante, el que va a variar con esta perturbación es delta (δ) el cual es el ángulo de desfase entre los voltajes V1 y V2, el controlador para mantener constante dicha potencia va a hacer variar la impedancia del TCSC según sea las condiciones de la perturbación, las magnitudes de V1, V2 y el

valor de la impedancia XL se van a mantener constantes.

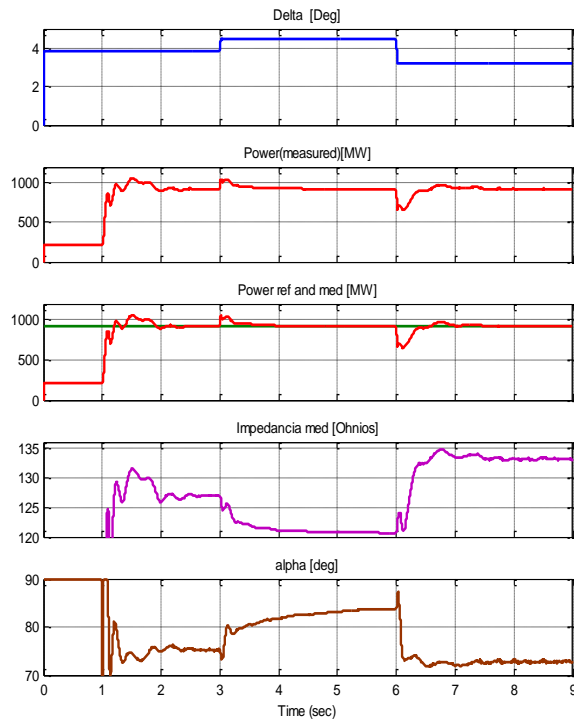


Fig. 12. Angulo delta (δ) con la perturbación, potencia medida, potencia de referencia, impedancia del TCSC y ángulo de disparo.

El controlador pese a la perturbación ejerce su control y logra estabilizar la potencia cambiando la impedancia equivalente del compensador TCSC lo cual se buscaba con esta prueba, demostrando que el controlador si funciona para estas condiciones de operación.

5.3.3. Prueba de perturbación en el voltaje de generación (V1)

Para realizar esta prueba se va crear una perturbación en la magnitud del voltaje de generación (V1) cada 3 seg. manteniendo la potencia de transmisión constante en el punto de operación, para lo cual tambien se mantendra constante la magnitud del voltaje V2, la impedancia de linea y el angulo delta

(δ), razon por la cual la unica variable que podra ajustarse a estas condiciones para mantener constante dicho voltaje de nuevo va a ser la impedancia del compensador TCSC.

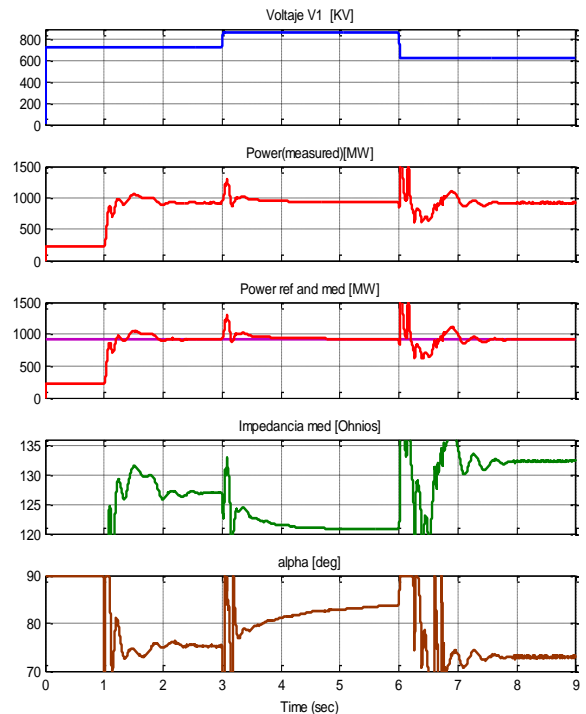


Fig. 13. Perturbación en la magnitud del voltaje de generación (V1), potencia medida y potencia de referencia.

Si la magnitud de V1 se aumenta por consecuencia de la perturbación el controlador manda a disminuir la impedancia equivalente del compensador TCSC y si disminuye la magnitud de V1 por la perturbación el controlador manda a aumentar la impedancia equivalente del compensador TCSC.

Si la impedancia del compensador TCSC varia su valor entonces tenemos que el angulo alfa (α) tambien varia como se observa en la ultima grafica de la fig. 13.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



6. Conclusiones

- Con los resultados de las simulaciones del capítulo V se puede comprobar que el dimensionamiento de los elementos principales del compensador TCSC es apropiado ya que se obtuvo el porcentaje de compensación deseado y especificado en el sistema.
- Con las simulaciones realizadas del capítulo V se puede verificar que el controlador de tipo Integral seleccionado para el control del sistema responde de manera adecuada a las pruebas realizadas en el sistema.
- Queda comprobado que para aumentar el flujo de Potencia no solo se lo puede lograr con el aumento en la magnitud del voltaje de generación (V1) sino que también se logra este objetivo con la utilización del compensador serie TCSC como se puede observar en las simulaciones del capítulo V.
- Las perturbaciones en la fase y magnitud del voltaje de generación que se realizó en el capítulo V, se verificó mediante simulaciones y comparando con ecuaciones descritas en el capítulo II que el compensador TCSC varía su impedancia para ayudar a suplir estas fallas y mantener la potencia de transmisión constante, pero el controlador es quien actúa para que el compensador cambie su impedancia demostrando así que el controlador también responde a estos tipos de perturbaciones.

7. Recomendaciones

- Realizar un estudio minucioso de los parámetros de la línea de transmisión, para

evitar no tomar en cuenta ciertos parámetros que influyen el control aplicado a la planta.

- El rango de variación de la impedancia del TCSC hacerlo un poco más grande para que al momento de simular las perturbaciones puedan esos valores de perturbación ser más grandes, y así hacer que el sistema sea más cercano a lo real.
- Hacer un controlador que permita trabajar al TCSC en la zona inductiva para apreciar reactancias inductivas en la línea y con esto disminuir la transferencia de potencia que la línea normalmente puede transferir.

8. Referencias

- [1] C. A. IGOR TAPIA, «Estudio, proyecto y simulación de un compensador serie estático de reactivos basado en el TCSC,» Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 2007.
- [2] P. ZÚÑIGA HARO, «Diseño e implementación en laboratorio de un dispositivo TCSC,» Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Guadalajara - México, 2001.
- [3] K. R. PADIYAR, «FACTS CONTROLLERS IN POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION,» New Age International (P) Ltd. Publishers, Lucknow, Mumbai, Ranchi, 2007.