

## 6.1 INTRODUCCIÓN

Los análisis de operación del sistema conformado por una máquina síncrona conectada a un bus infinito a través de una línea de transmisión para operación con pequeña señal, han permitido establecer los criterios básicos para garantizar la estabilidad de esta señal, para esto se utilizan modelos lineales de los componentes del sistema eléctrico.

La incorporación de un SVC ha sido una alternativa para mejorar los límites de estabilidad del sistema y mejorar los parámetros de operación, es decir una alternativa para mejorar el amortiguamiento del sistema y tener una buena regulación de tensión.

El esquema utilizado en este trabajo contiene una parte para el control de los reactivos y un compensador adicional del tipo PI para amortiguar las oscilaciones que se aparecen cuando se presenta una perturbación. Este esquema provoca una variación en los coeficientes del modelo linealizado planteado, considerado en la expresión  $\Delta T_e = K_1 \Delta \delta + K_2 \Delta E'_q$ , tal que el torque sincronizador es positivo y asegurando de esta manera la estabilización.

En la figura 6.1 se muestra la forma de conexión del SVC en el sistema conformado por una máquina síncrona conectada a una barra infinita a través de una línea de transmisión. Se observa que el SVC se conecta en la barra del generador.

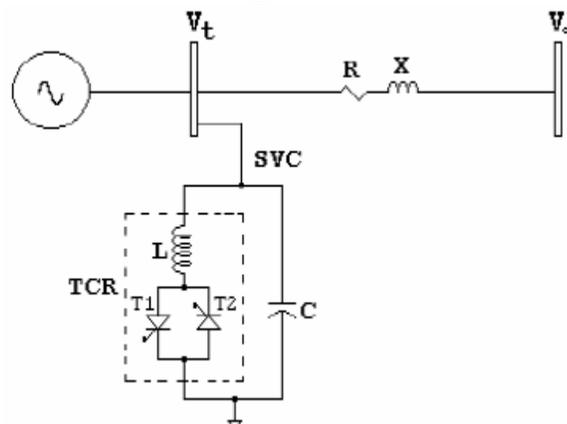


Figura 6.1. Esquema general a estudiar

## 6.2 MODELO LINEALIZADO DEL COMPENSADOR ESTÁTICO DE VAR's

Desde hace un tiempo se han planteado diferentes esquemas para los compensadores de VAR's estático, encontrándose entre ellos el SVC basado en un condensador fijo y una

reactancia cuya corriente es regulada en ambos semiciclos por medio de dos tiristores conectados en antiparalelo. La estructura de este tipo de SVC es mostrada en la figura 6.2.

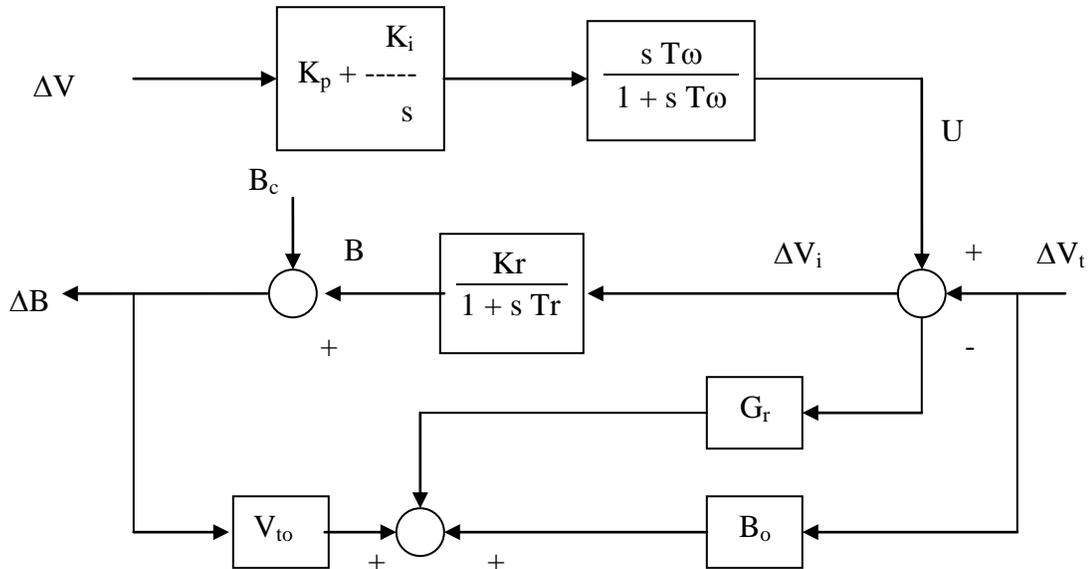


Figura 6.2 Modelo del SVC planteado

La función primaria de este SVC es controlar la potencia reactiva y estabilizar el voltaje del sistema. La señal auxiliar  $U$  es aplicada a la entrada del controlador del SVC y al sistema de excitación de la máquina para amortiguar las oscilaciones del sistema cuando aparecen perturbaciones. El SVC está equipado con un regulador de tensión el cual incrementa el torque sincronizador. En general, la contribución al torque amortiguador con solo el regulador de tensión es pequeña. Si se requiere amortiguamiento adicional, se requiere una acción de control suplementario que en este caso es realizada por el controlador PI. La señal usada como entrada es la velocidad, pero pueden usarse otras tales como la potencia eléctrica, la frecuencia o una combinación de varias señales.

### 6.3 MÉTODO PROPUESTO

Se parte de un modelo linealizado del sistema planteado inicialmente, y se calculan los parámetros del sistema ( $K_1 - K_6$ ) y del punto de operación. Este sistema está representado en la figura 6.3.

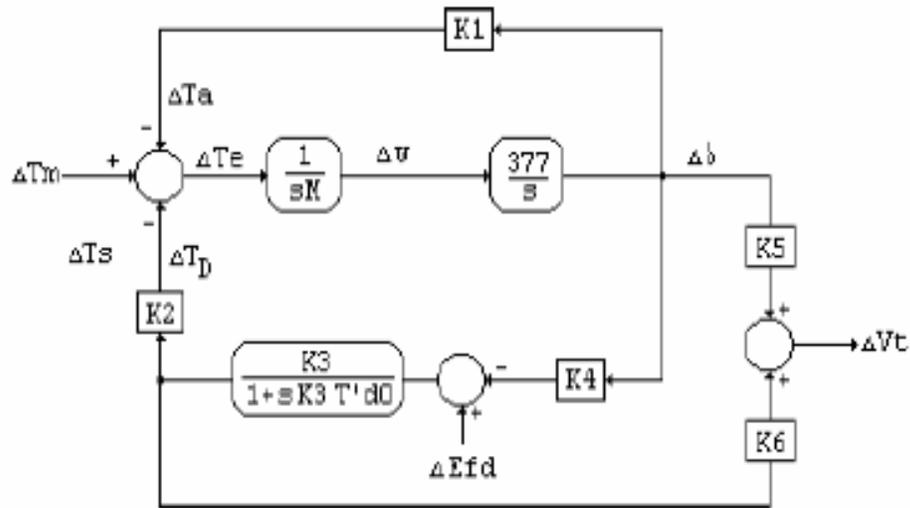


Figura 6.3 Modelo linealizado del Sistema sin SVC

### 6.3.1 Modelo del SVC

El modelo usado para el SVC es el mostrado en la figura 6.2 y el punto de operación de estado estable está dado por:

$$I_s = B V_t \quad (6.1)$$

La ecuación (6.1) se linealiza alrededor de un punto de operación quedando:

$$\Delta I_s = B_o \Delta V_t + V_{to} \Delta B \quad (6.2)$$

La señal de entrada al sistema de control del SVC está expresada como:

$$\Delta V_i = U - \Delta V_t - G_r - \Delta I_s \quad (6.3)$$

Partiendo de las ecuaciones (6.2) y (6.3) y planteando el resto con el modelo de la figura (6.2), se tiene;

$$\Delta V_t = K_5 \Delta \delta + K_6 \Delta E'_q \quad (6.4)$$

$$\Delta T_e = K_1 \Delta \delta + K_2 \Delta E'_q \quad (6.5)$$

$$\Delta E_{fd} = -K_A \Delta V_t + K_A U + K_A \Delta V_{ref} \quad (6.6)$$

$$\Delta E'_q = K_3 (\Delta E_{fd} - K_4 \Delta \delta) \quad (6.7)$$

Después de manipular el conjunto de ecuaciones de (6.1) hasta la (6.6) se llega a:

$$\Delta T_e = K_{12} \Delta \delta + K_{13} \Delta B \quad (6.8a)$$

$$\Delta V_t = C \Delta \delta + w \Delta B \quad (6.9a)$$

La ecuación (6.8) representa una nueva fórmula para expresar el torque electromagnético. El primer término representa el coeficiente del torque sincronizador, el cual debe ser positivo para asegurar la estabilidad del sistema.

El segundo término representa el grado al cual un cambio en la susceptancia del SVC puede causar una aceleración de la máquina. Entre más alto sea este factor mejor es la estabilidad del sistema. En la figura 6.4 se modelan las ecuaciones (6.8) y (6.9) mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales de segundo orden. Esta también es una versión modificada del modelo mostrado en la figura 6.1 pero con los efectos del SVC.

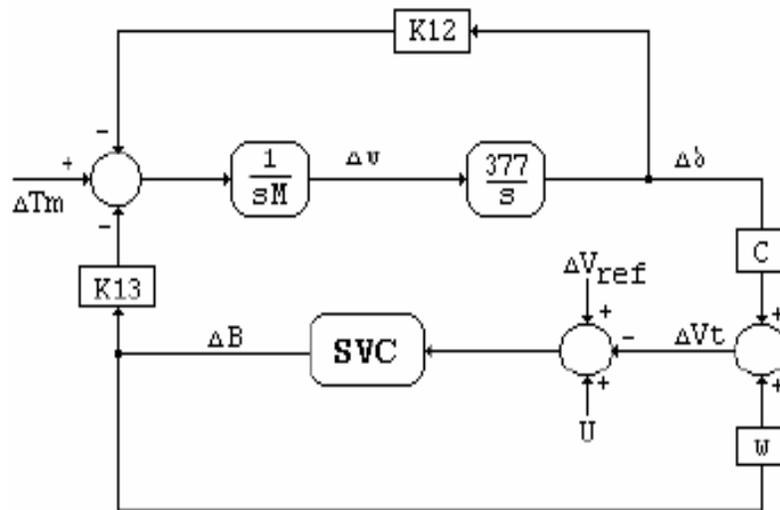


Figura 6.4 Modelo linealizado resultante obtenido al incluir el SVC

A continuación se muestra el desarrollo realizado para obtener las ecuaciones (6.8a) y (6.9a).

Reemplazando (7) en (4)

$$\Delta V_t = (K_5 - K_3 K_4 K_6) \Delta \delta + K_3 K_6 \Delta E_{fd} \quad (8)$$

Haciendo  $V_{ref}=0$  en (8):

$$\Delta V_t = \frac{K_d}{1 + K_c} \Delta \delta + \frac{K_c}{1 + K_c} U \quad (9)$$

con

$$K_d = K_5 - K_3 K_4 K_6 \quad K_c = K_A K_3 K_6$$

donde

$$H_Q = \frac{K_d}{1 + K_c} \quad \text{y} \quad \frac{K_c}{1 + K_c} = H_D$$

$$\Delta V_t = H_Q \Delta \delta + H_D U \quad (10)$$

Reemplazando (10) en (3):

$$\Delta V_i = -H_Q (1 + G_I B_0) \Delta \delta - G_I V_{I_0} \Delta B + [1 - H_D (1 + G_I B_0)] U \quad (11)$$

Ecuación del SVC:

$$\Delta B = K_r \Delta V_i \quad (12)$$

$$\Delta B = K_r \{-H_Q (1 + G_I B_0) \Delta \delta - G_I V_{I_0} \Delta B + [1 - H_D (1 + G_I B_0)] U\}$$

$$\Delta B = -\frac{K_r H_Q (1 + G_I B_0)}{(1 + K_r G_I V_{I_0})} \Delta \delta + \frac{K_r [1 - H_D (1 + G_I B_0)]}{(1 + K_r G_I V_{I_0})} U \quad (13)$$

Simplificando:

$$U = \frac{1}{K_9} \Delta B + \frac{K_8}{K_9} \Delta \delta \quad (14)$$

(6) en (7):

$$\Delta E'_q = K_3 \{-K_A \Delta V_t + K_A U - K_4 \Delta \delta\}$$

Ahora de (14):

$$\Delta E'_q = K_3 \{-K_A \Delta V_t + K_A (\frac{1}{K_9} \Delta B + \frac{K_8}{K_9} \Delta \delta - K_4 \Delta \delta)$$

$$\Delta E'_q = K_3 [-K_A H_Q - \frac{K_A H_D K_8}{K_9}] \Delta \delta + \frac{K_A H_D K_8}{K_9} \Delta B \quad (15)$$

$$(\frac{K_A K_8}{K_9} - K_4) \Delta \delta + K_3 (\frac{K_A}{K_9} - \frac{K_A H_D}{K_9}) \Delta B$$

$$\text{Entonces: } \Delta E'_q = [K_{10} \Delta \delta + K_{11} \Delta B$$

$$\Delta T_e = [K_1 + K_2 K_{10}] \Delta \delta + [K_2 K_{11}] \Delta B$$

donde

$$\Delta T_e = K_1 \Delta \delta + K_2 (K_{10} \Delta \delta + K_{11} \Delta B)$$

donde

$$K_{10} = K_3 [-K_A H_Q - \frac{K_A H_D K_8}{K_9}] +$$

$$(\frac{K_A K_8}{K_9} - K_4]$$

$$\Delta V_t = H_Q \Delta \delta + H_D U$$

$$\Delta T_e = K_{12} \Delta \delta + K_{13} \Delta B \quad (16)$$

$$\Delta V_t = H_Q \Delta \delta + (\frac{1}{K_9} \Delta B + \frac{K_8}{K_9} \Delta \delta) H_D$$

$$\Delta V_t = (H_Q + \frac{K_8 H_D}{K_9}) \Delta \delta + \frac{H_D}{K_9} \Delta B \quad (17)$$

Sistema resultante:

$$\Delta T_e = K_{12} \Delta \delta + K_{13} \Delta B \quad (8a)$$

$$\Delta V_t = C \Delta \delta + w \Delta B \quad (9a)$$