

BLOQUEO DEL CAMBIADOR DE TOMAS DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION Y SU EFECTO SOBRE LA ESTABILIDAD DE TENSION

Ing. Luis AROMATARIS
GASEP-UNRC
Argentina

Ing. Patricia ARNERA
IITREE-LAT-UNLP
Argentina

Ing. Jean RIUBRUGENT
IITREE-LAT-UNLP
Argentina

RESUMEN

El problema de Estabilidad de Tensión es considerado por la mayoría de los autores como un problema de estabilidad de la carga vista desde el sistema de transmisión, la cual incluye los efectos del sistema de subtransmisión y distribución. Ante perturbaciones importantes que originan caídas de tensión, la demanda inicialmente se modificará, de acuerdo a la sensibilidad de la misma a las fluctuaciones de tensión, pero poco tiempo después actuarán los cambiadores de tomas de los transformadores de distribución restaurando el nivel de tensión en la carga. Esto probablemente conduce a situaciones de colapso de tensión de una parte o de todo el sistema si no se toman medidas adecuadas que impidan que el fenómeno continúe. Sobre el sistema de distribución se pueden tomar acciones, en un lapso no mayor a un minuto, que incluyan bloqueo del cambiador automático de tomas de los transformadores, conexión de dispositivos de compensación y finalmente desconexión de cargas.

Las simulaciones de pérdida de estabilidad de tensión de mediano y largo plazo se pueden realizar desde una metodología estática en la que se modela el fenómeno con la suficiente aproximación para arribar a resultados auspiciosos.

En el presente trabajo se realiza un estudio comparativo del efecto que tiene el bloqueo de los cambiadores automáticos de tomas de los transformadores de distribución sobre la estabilidad de tensión para un sistema de 14 barras, donde se representa el sistema de distribución bajo un modelo concentrado. La carga en cada barra se representa en parte sensible a la tensión y el resto de potencia constante. Las simulaciones se realizan desde un enfoque basado en el análisis de estado estable del sistema, utilizando para ello el análisis modal. Se analiza la influencia del bloqueo de los cambiadores de tomas ante perturbaciones tales como pérdida de importantes líneas o crecimiento anormal de la carga.

PALABRAS CLAVES:

Estabilidad de Tensión, Análisis Modal, Bloqueo del Cambiador de Tomas de transformadores.

En la planificación y operación de los sistemas eléctricos altamente cargados, la capacidad de mantener la estabilidad de tensión se ha transformado en uno de los principales problemas (Morison, et al 1993). Los incidentes que se han producido a lo largo del mundo en este sentido, han producido una provechosa experiencia que ha ido permitiendo una mejor comprensión del fenómeno y una mejora en su prevención. La experiencia dice que las características de la carga y el control de la tensión en la distribución son, entre otros, los factores más importantes que afectan a la estabilidad de tensión. (Kundur, 1994). La mayoría de los autores considera que es un problema de la estabilidad de la carga vista desde el sistema de transmisión, la cual incluye los efectos del sistema de subtransmisión y distribución. La carga es sensible a las variaciones de tensión y por tanto ante la presencia de perturbaciones importantes que originan caídas de tensión, la demanda inicialmente se modificará, de acuerdo a la sensibilidad de la misma a las fluctuaciones de tensión, pero poco tiempo después actuarán los cambiadores de tomas de los transformadores de distribución restaurando el nivel de tensión a la carga. Esto puede conducir a situaciones de colapso de tensión en parte o todo el sistema si no se toman las medidas adecuadas que impidan que el fenómeno continúe. Sobre el sistema de distribución se pueden tomar medidas, en un lapso no mayor de un minuto que incluya bloqueo del cambiador de tomas de los transformadores, conexión de dispositivos de compensación y finalmente desconexión de cargas. En el año 1992 Electricité de France emitió un trabajo en el que se indican las medidas a adoptar ante posibles condiciones de colapso de tensión del Sistema Francés (Bourgin, et. al. 1992). En ese trabajo se indica, entre otras medidas, el bloqueo de los cambiadores de tomas de los transformadores por control remoto, a través de dispositivos automáticos que actúen dependiendo de los valores de tensión. Otros autores también consideran que esta medida es una manera simple de mejorar la estabilidad de tensión en los sistemas (Taylor, 1994). En el presente trabajo se realizará un estudio sobre la zona norte del área centro del SADI comparando la estabilidad de tensión de largo plazo, ante un incremento de la carga y aplicación posterior de una perturbación, cuando se bloquean los cambiadores de tomas de los transformadores de distribución y cuando esto no ocurre.

1. INTRODUCCION

2. FORMULACION DEL PROBLEMA

El modelo matemático que se adoptará para la formulación del problema corresponde a la metodología estática para evaluar la estabilidad de tensión utilizando el análisis modal (Gao, et. al., 1992). El método consiste en encontrar los valores propios de la matriz jacobiana del sistema linealizado en estado estable.

La evaluación se realiza en torno a un punto de operación del sistema y por tanto para distintas simulaciones se debe determinar primeramente la condición de equilibrio y repetir la búsqueda de los valores antedichos.

Las ecuaciones que gobiernan el comportamiento en estado estable de los Sistemas Eléctricos de Potencia se pueden obtener del estudio de Flujo de Potencia y están dadas por:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{p\theta} & J_{pV} \\ J_{q\theta} & J_{qV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde ΔP y ΔQ son los cambios en la potencia activa y reactiva, $\Delta\theta$ y ΔV son los cambios en el ángulo y módulo de tensión respectivamente. Estos valores están relacionados a través de la matriz jacobiana del sistema.

Los cambios en P y Q afectan a la estabilidad de tensión, sin embargo, si consideramos que el sistema no tiene problemas de estabilidad angular, se puede mantener constante el valor de P, considerar incrementos de Q y estudiar su influencia sobre los valores de V para diferentes condiciones de operación.

Haciendo $\Delta P = 0$, obtenemos:

$$\Delta Q = \begin{bmatrix} J_{qV} & -J_{q\theta} & J_{p\theta}^{-1} & J_{pV} \end{bmatrix} \Delta V \quad (2)$$

$$\Delta Q = J_R \Delta V \quad (3)$$

o

$$\Delta V = J_R^{-1} \Delta Q \quad (4)$$

siendo:

$$J_R = \begin{bmatrix} J_{qV} & -J_{q\theta} & J_{p\theta}^{-1} & J_{pV} \end{bmatrix} \quad (5)$$

donde J_R es la matriz jacobiana reducida que relaciona el módulo de tensión en barras con la magnitud de la potencia reactiva.

Esto puede ser escrito de la siguiente manera:

$$J_R = S \Lambda S^{-1} \quad (6)$$

donde Λ es una matriz diagonal cuyos elementos son los valores propios, S es la matriz de vectores propios y S^{-1} es su inversa.

La inversa de J_R se puede escribir como:

$$J_R^{-1} = S \Lambda^{-1} S^{-1} \quad (7)$$

Reemplazando en (4):

$$\Delta V = S \Lambda^{-1} S^{-1} \Delta Q \quad (8)$$

o

$$\Delta V = \sum_i \frac{S_i S_i^{-1}}{\lambda_i} \Delta Q \quad (9)$$

donde:

S_i : es la i-ésima columna de S

S_i^{-1} : es la i-ésima fila de S^{-1}

λ_i : i-ésimo valor propio.

La i-ésima variación modal de la potencia reactiva es:

$$\Delta Q_{mi} = K_i S_i \quad (10)$$

y la correspondiente i-ésima variación modal de la tensión es:

$$\Delta V_{mi} = \frac{\Delta Q_{mi}}{\lambda_i} \quad (11)$$

De la expresión anterior se puede ver claramente que si el valor propio está muy cercano a cero cualquier variación en el valor de potencia reactiva produce una variación infinita en los valores de tensión. De lo anterior se puede inferir que para que el sistema sea estable, todos los valores propios de J_R deben ser positivos. La cercanía de alguno de ellos al valor cero da una idea de la proximidad del sistema a la inestabilidad. Un valor negativo significa que la estabilidad del sistema se ha perdido

3 MODELO DEL SISTEMA

El modelo del sistema considerado es el que se utiliza en los estudios de flujo de potencia. La diferencia estriba en que la carga no se conecta a la barra de alta tensión sino que se considera conectada al lado de baja tensión a través de la subestación transformadora con cambiador de tomas. En la Figura 1 se puede observar en (A) el modelo tradicional en que la carga está directamente conectada a la barra de alta tensión mientras que en (B) lo hace a través del transformador.

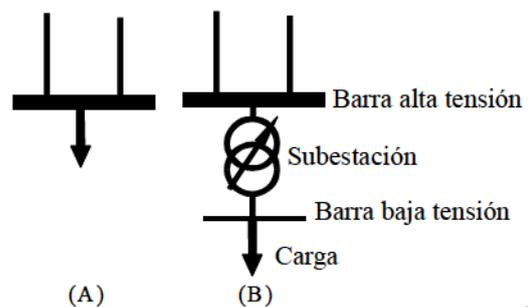


Fig. 1. Modelos de conexión de la carga a barras

El modelo de carga considerado deberá ser estático, ya que las ecuaciones del sistema son de estado estable, pero de-

pendiente de la tensión a fin de que su sensibilidad se vea reflejada cuando la tensión varíe. Este modelo relaciona la potencia activa y reactiva en algún instante de tiempo como función de la tensión en la barra en el mismo instante.

Los modelos estáticos de carga pueden considerarse de impedancia constante donde la potencia varía cuadráticamente con los valores de tensión; de corriente constante, donde la potencia varía linealmente con la tensión o de potencia constante, donde la potencia no varía ante variaciones de la tensión.

Estos modelos pueden expresarse matemáticamente a través de las siguientes ecuaciones (IEEE Task Force, 1993) :

$$P = P_0 \left[\frac{V}{V_0} \right]^{P_v} \quad (12)$$

$$Q = Q_0 \left[\frac{V}{V_0} \right]^{Q_v} \quad (13)$$

donde:

- V = Tensión actual
- V_0 = Tensión nominal
- P, Q =Potencia actual
- P_0, Q_0 = Potencia nominal
- P_v = Exponente de potencia activa
- Q_v = Exponente de potencia reactiva

El valor del exponente puede variar según la semejanza de la característica de la carga considerada a los modelos de impedancia, corriente o potencia constante.

El control de tensión producido por el transformador con cambiador de tomas opera en forma discontinua, y la demora de tiempo asociada con su operación es frecuentemente larga. Una forma de estudiar el efecto de este dispositivo en análisis de largo plazo, sin tener en cuenta una simulación detallada en el tiempo, es a través de una "instantánea", esto es, realizar el estudio luego de producida la contingencia y de que todos los transitorios, rápidos y lentos, se hayan producido

4 CASO DE ESTUDIO

El sistema seleccionado corresponde a la zona norte del área centro del SADI (Fig 2). Esta es una zona altamente cargada y por tanto adecuada para este tipo de estudios. Se consideraron 14 barras con niveles de tensión de 132 y 66 KV.

La carga en cada barra fue trasladada a la barra de baja tensión a través de un transformador con cambiador de tomas. Se consideró que una parte de la carga se comporta con las características de potencia constante, otra parte con su potencia activa sensible a la tensión y una última

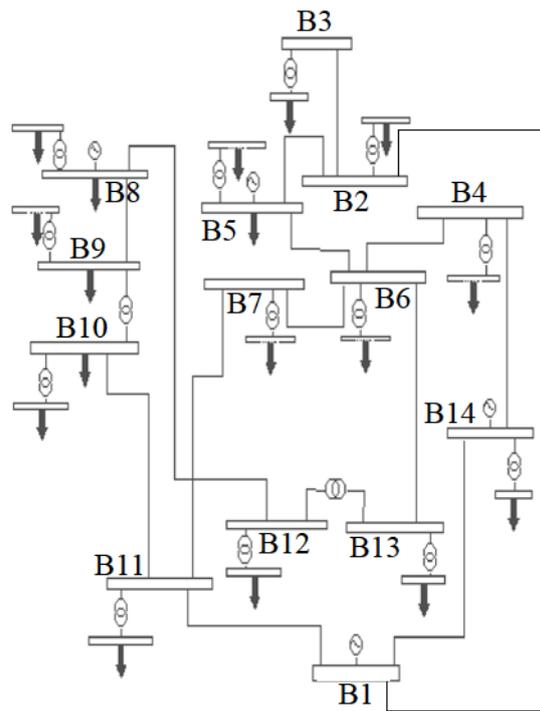


Fig.2. Sistema de 14 Barras

parte con su potencia activa y reactiva sensibles a las variaciones de tensión. Se realizó una primer corrida para un determinado estado de carga, arribándose a un perfil de tensiones dentro de límites, y con un parque generador con capacidad de controlar los valores de tensión, esto es, sin llegar a los límites de producción de potencia reactiva.

Los tres autovalores más pequeños para este estado se muestran en la Tabla I. Se muestra también que la posición del tap de todos los transformadores no sufrió variaciones.

Tabla I

Modo	Autovalor	Tap
1	0.603	Neutro
2	2.356	
3	2.855	

En una segunda corrida se aumentó la carga del sistema en un 20 % sin considerar el bloqueo del cambiador de tomas. En la Tabla II se muestran los autovalores resultantes, detectándose que los transformadores asociados a las barras 8, 9 y 12 sufrieron un cambio en la posición.

Tabla II

Modo	Autovalor	Tap
1	0.561	Variación de la posición en barras 8, 9 12
2	1.662	
3	2.597	

En una tercer corrida se consideró el mismo aumento en la carga pero con el cambiador de tomas bloqueado. Según se muestra en Tabla III los autovalores se alejaron levemente del valor cero respecto de los valores anteriores pero no se notó un cambio fundamental en las condiciones.

Tabla III

Modo	Autovalor	Tap
1	0.580	Bloqueado
2	1.683	
3	2.683	

En una cuarta corrida se consideró la salida de una de las líneas más importantes, esto es, la que une las barras 1 y 2, sin considerar el bloqueo de los transformadores. Los resultados muestran que algunos autovalores tienen parte real negativa, lo que indica que el sistema ha perdido la estabilidad.

En la Tabla IV se muestra lo expresado anteriormente y también que todos los tap sufrieron un cambio en la posición.

Tabla IV

Modo	Autovalor	Tap
1	Parte real negativa	Variación de posición en todas las barras.
2		
3		

En una quinta corrida se consideró el mismo caso anterior pero se produjo el bloqueo de los cambiadores de tomas. Los resultados, que se muestran en la Tabla V, muestran que a pesar de que los autovalores, principalmente el más pequeño, tuvieron una fuerte cercanía al valor cero, el sistema mantuvo la estabilidad.

Tabla V

Modo	Autovalor	Tap
1	0.376	Bloqueado
2	0.922	
3	2.397	

5. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio sobre Estabilidad de Tensión de largo plazo sobre la zona norte del área Centro del SADI. Sobre el sistema en estado normal se produjo un incremento en la carga del 20 % y se realizaron corridas con los cambiadores de tomas de los transformadores bloqueados y sin bloquear. Los resultados muestran que no hubo mejoras sustanciales con la fijación de los taps respecto a la estabilidad de tensión. Se puede considerar que desde el punto de vista de la tensión que recibe el usuario no es conveniente producir el bloqueo a menos que el sistema se vea altamente

comprometido. Esto último se comprobó cuando se dejó fuera de servicio una de las líneas más importantes del sistema, mostrándose que la fijación de los taps fue un hecho fundamental para resguardar la estabilidad del sistema. Es claro que esta acción no es la única para prevenir la inestabilidad, pero forma parte del grupo de acciones a tomar ante este evento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Río Cuarto y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata por el apoyo recibido.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Morison, G.-Gao, B.-Kundur, P. "Voltage Stability Analysis Usin Static and Dynamic Approaches". IEEE Trans on Power Systems, Vol 8 No. 3, August 1993.
- [2]. Gao, B, Morison, G:K, Kundur, P., "Voltage Evaluation Using Modal Analysis", IEEE Trans on Power Systems, Vol 7 No. 4, November 1992.
- [3]. Taylor , C. "Power System Voltage Stability". McGraw Hill . 1994.
- [4]. IEEE Task Force. "Load Representation for Dynamic Performance Analysis", IEEE Trans on Power Systems, Vol 8 No. 2, May 1993.
- [5]. Counan, C.-Trotignon, M- Corradi, E.-Bortoni, G.-Stubbe, M.-Deuse, J.-"Major Incidents on the French Electric System: Potentiality and Curative Measures Studies". IEEE Trans on Power Systems, Vol 8 No. 3, August 1993.
- [6]. Kundur, P.- "Power System Stability and Control". McGraw Hill . 1994