



IX Encontro Regional Latino-Americano da Cigré

IX Encuentro Regional Latino-Americano del Cigré

27 a 31 de maio de 2001
27 al 31 de mayo de 2001

IX/F I-38.13

COMITÉ 38

ANÁLISIS Y TÉCNICAS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

ESTUDIO DINAMICO DE ESTABILIDAD DE TENSION COMPARANDO MODELOS DE CARGA ESTATICA Y CARGA DINAMICA

Luis Aromataris
Facultad de Ingeniería - UNRC

Patricia Arnera Jean Riubrugent
IITREE – Facultad de Ingeniería - UNLP

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el impacto que tiene el modelo de la carga sobre el análisis de Estabilidad de Tensión de un Sistema Eléctrico. Se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo del efecto de modelar la carga en forma estática y en forma dinámica. Se establece la importancia de utilizar modelos dinámicos de la carga cuando ésta esta compuesta principalmente por motores.

PALABRAS CLAVE: Modelo de la carga, modelo estático, modelo dinámico, estabilidad de tensión.

1.0 INTRODUCCION

La estabilidad de tensión esta principalmente determinada por las características de la carga y por los dispositivos relacionados al control de tensión, especialmente los que correspondan al control de excitación del generador, tales como el limitador de sobreexcitación (6). En particular, las características de la carga deben ser modeladas en forma precisa cuando se desea simular el comportamiento de los Sistemas Eléctricos ante grandes perturbaciones que puedan producir inestabilidad de tensión. Esta es una tarea difícil ya que la representación de la carga ha sido investigada en bastante menor grado que la representación de la generación, transmisión y distribución (2).

A medida que la estabilidad de tensión fue creciendo en importancia para ingenieros de sistema, investigadores y Empresas de Energía, se fue incrementado el énfasis en desarrollar un modelo apropiado de la carga, aunque todavía no hay un criterio uniforme sobre cual es el modelo óptimo que se debe utilizar en las simulaciones.

Aún si el comportamiento de la carga fuera conocido exactamente, es impracticable representar cada componente de manera individual ya que existen millones de componentes en cada sistema y por tanto

se los debe representar en forma concentrada según características similares. Para ello se debe realizar una considerable cantidad de simplificaciones(1). A pesar de estos inconvenientes existen modelos en la bibliografía que permiten arribar a representaciones que se pueden aproximar, en mayor o menor grado, a su comportamiento real.

Cuando estos modelos son representados matemáticamente a través de ecuaciones diferenciales estamos en presencia de un modelo de carga dinámico. En el caso de que su representación matemática se realice a través de ecuaciones algebraicas, estamos en presencia de un modelo de carga estático. Generalmente en este modelo estático se representa la potencia de carga separada en potencia activa y potencia reactiva y cada una de ellas formada por una combinación de impedancia constante, corriente constante y potencia constante (3).

Cuando se realizan simulaciones dinámicas de Sistemas Eléctricos es posible utilizar tanto modelos dinámicos como modelos estáticos de la carga. La Estabilidad de Tensión se garantiza cuando luego de una perturbación el sistema adopta un nuevo punto de equilibrio estable. Si esto no ocurriera se considera que el sistema entra en colapso de tensión. Sin embargo, esto ocurre únicamente cuando el modelo de carga es dinámico ya que cuando toda la carga del sistema se modela estáticamente, digamos que presenta características de admitancia constante, nunca puede sufrir situaciones de colapso (8).

La Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) sugiere que para realizar simulaciones dinámicas del Sistema Argentino de Interconexión (SADI) se considere que la carga en todas las barras se modele estáticamente y que esté compuesta por un 80 % a corriente constante y 20 % a admitancia constante para la carga activa y 50 % a corriente constante y 50 % a admitancia constante para la carga reactiva. En el presente trabajo se realizarán simulaciones sobre un sistema de prueba en el que se considerará un modelo de carga estática, tal como

sugiere CAMMESA y se lo comparará con un modelo de carga dinámica compuesta propuesto por PSS/E versión 26 (7). Los resultados mostrarán que el modelo estático no siempre es apropiado, principalmente si se considera una carga compuesta por gran cantidad de motores.

2.0 CARACTERISTICAS DE LA CARGA

El modelo de carga que más fuertemente afecta a la estabilidad de tensión es el modelo de carga que mantiene sus valores de potencia independiente de los valores de tensión y frecuencia, comúnmente llamada como carga a potencia constante. En (6) se considera que una carga que se comporte de esta manera no responde a características de carga estática ya que ante variaciones de tensión o frecuencia del sistema la carga no puede instantáneamente mantener su valor sino que inicialmente presenta características de impedancia constante o corriente constante. Luego, debido a la naturaleza de la misma carga o debido a la acción de los dispositivos de control, tales como transformadores con cambiadores de tomas bajo carga y reguladores de tensión, que intentan mantener la tensión constante después de la perturbación en las áreas de demanda, la carga comienza a presentar características de potencia constante. Incluso, las cargas termostáticamente controladas, por ejemplo las de calefacción, debido a que consumen energía constante tienden a presentar características de potencia constante en el largo plazo (4). Esto hace que los únicos modelos de carga estática utilizables se restrinjan al de impedancia constante y corriente constante. Si alguno de estos modelos se conecta a la red a través de transformadores con cambiadores de tomas bajo carga o se considera la acción de los reguladores de tensión podremos ver aproximadamente, luego de un retardo de tiempo, un comportamiento de carga a potencia constante.

A fin de observar cualitativamente lo expresado anteriormente consideremos un pequeño sistema eléctrico, tal como se observa en la figura 1, compuesto por un sistema que alimenta a una carga a través de una línea doble y de un transformador de distribución con cambiador de tomas bajo carga.

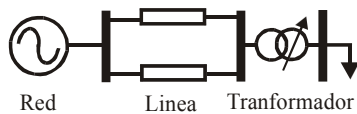


Figura 1. Pequeño Sistema Eléctrico

Consideremos primeramente que la carga es puramente estática y tiene el comportamiento característico de una carga a impedancia constante. En la figura 2 se representan las curvas PV que muestran el comportamiento de este sistema eléctrico. El punto de trabajo en estado de régimen, es la intersección de la

curva de pre-falla, la curva característica de la carga y la línea de puntos vertical que corta al eje de P en el valor 1 p.u.(punto A). Si se produce una perturbación que desconecte una de las líneas de alimentación, pasamos inmediatamente a la curva de post-falla. La carga se moverá a través de su característica hasta intersectar a esta curva para establecer el nuevo punto de trabajo (punto B). Este nuevo punto se establece a un valor de potencia y tensión inferior al punto de trabajo inicial.

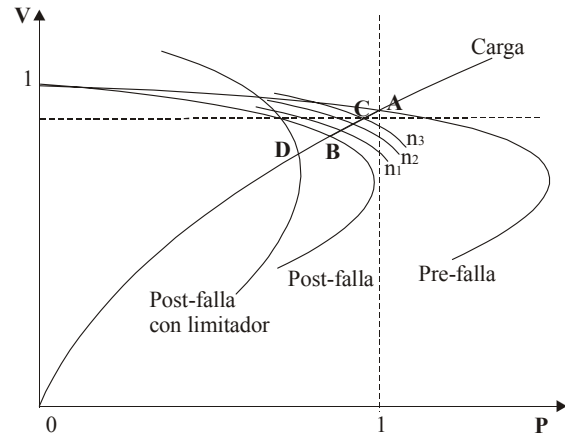


Figura 2. Curvas PV para una carga a impedancia constante

La línea de puntos horizontal es el valor mínimo de tensión que admite el transformador y por tanto, luego de un retardo de tiempo prefijado, comienza a cambiar la relación de transformación y por ende las curvas PV que pasan a ocupar las posiciones n_1 , n_2 y n_3 , hasta superar ese valor de tensión mínimo, estableciéndose finalmente en el punto C (Figura 3). Como se puede ver la carga recuperó casi su valor de potencia de pre-falla, presentado aproximadamente características de carga a potencia constante. En este caso el sistema no presenta inconvenientes de funcionamiento luego de la falla. Si consideráramos ahora que los limitadores de

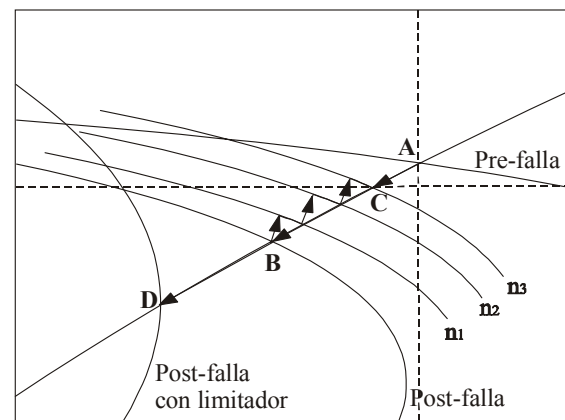


Figura 3. Visión ampliada de curvas PV

de sobreexcitación de generadores actuaran luego de haberse alcanzado el punto C y las tomas del

transformador hubieran llegado a su máximo, el punto final de trabajo se establecería en el punto **D** que es la intersección de la característica de la carga y de la curva de post-falla con limitador de sobreexcitación. En este caso, a pesar de que el punto de trabajo se establece a una tensión de bajo valor no se pierde la estabilidad del sistema, ya que se ha encontrado un nuevo punto de equilibrio.

Investiguemos ahora que ocurre cuando la carga está compuesta por un motor equivalente que consume la misma cantidad de potencia activa que en caso anterior. Cuando se produce una perturbación y el nivel de tensión disminuye, el motor tiende inicialmente a comportarse aproximadamente como una carga de impedancia constante ya que el deslizamiento no puede cambiar instantáneamente (9). Luego, dependiendo de la dinámica de la inercia del rotor y del flujo, además de las características de la red y del tipo de perturbación, puede comenzar a detenerse a niveles relativamente altos de tensión. Esto produce un decaimiento de la tensión del sistema que puede conducir a que otros motores también se detengan. En la figura 4 se puede ver un análisis cualitativo de lo que ocurre. Inicialmente el sistema se encuentra en la posición **A** que es la intersección de la curva de pre-falla con la característica del motor a deslizamiento de plena carga. Cuando se produce la perturbación, el punto de funcionamiento cae hacia el punto **B**, ya que el deslizamiento no puede cambiar instantáneamente y por tanto presenta en ese instante características de impedancia constante. Luego, comienza a mostrar característica de potencia constante ya que trata de alcanzar el punto de equilibrio estable entre la potencia eléctrica consumida y la potencia mecánica de carga.

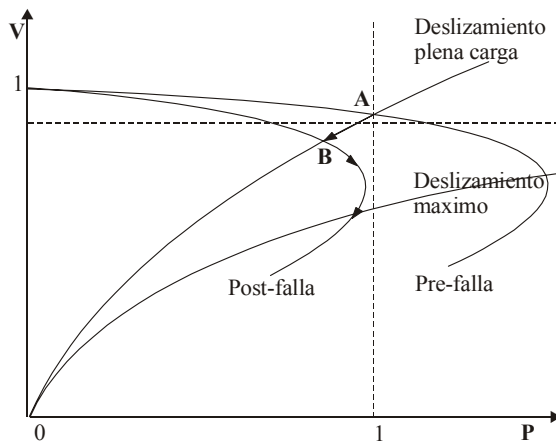


Figura 4. Curvas PV para carga motora

Para las curvas de la figura no existe intersección entre la curva de post-falla y la potencia inicial y por tanto sigue su movimiento hasta sobrepasar la curva de máximo deslizamiento hasta detenerse, sobreviniendo el colapso de tensión. Todo esto se produce rápidamente respecto al tiempo de actuación del

dispositivo de control de tensión del transformador, produciéndose el colapso antes de que éste actúe.

Todo lo expresado anteriormente muestra que si el modelo es estático, es posible encontrar un punto de equilibrio que, a pesar de mostrar bajos valores de tensión, mantiene la estabilidad del sistema, mientras que si el modelo es dinámico, principalmente en el caso de motores, para los mismos valores de potencia, se puede perder la estabilidad.

3.0 CASO DE ESTUDIO

En la figura 5 se presenta un sistema eléctrico al que se lo somete a una perturbación que consiste en la caída de una de las líneas entre las barras 5 y 6 (5). Las cargas están ubicadas en barras 7 y 10 y se conectan al sistema a través de sendos transformadores con cambiadores de tomas bajo carga. Se estudiará el comportamiento del sistema luego de la perturbación considerando las siguientes situaciones:

a) La carga en ambas barras siguen un comportamiento estático con una proporción de 80 % a corriente constante y 20 % a admitancia constante para la potencia activa y 50 % a corriente constante y 50 % a admitancia constante para la potencia reactiva, tal como lo sugiere CAMMESA.

b) La carga en barra 7 está compuesta por un 25% de motores y 75 % de carga estática en una proporción igual a la situación anterior. La barra 10 está compuesta por un 75% de motores y 25 % de carga estática con la misma proporción anterior.

Los estudios dinámicos se realizaron utilizando el programa PSS/E versión 26. Los datos del sistema figuran en el Apéndice.

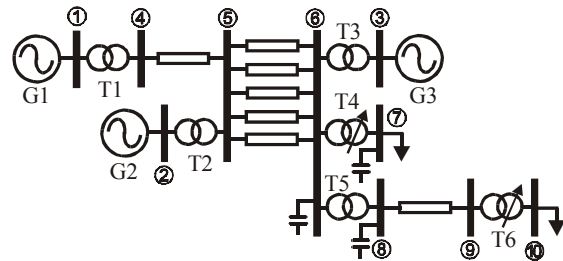


Figura 5. Caso de Estudio

En la figura 6 se muestra el valor de las tensiones en barras 7 y 10 para el caso a). La perturbación fue aplicada a los 10 segundos. Luego de ella la tensión adopta un valor estacionario hasta que las tomas del transformador comienzan a cambiar para elevar la tensión al valor preestablecido. En el segundo paso del tap, comienza la acción del limitador de sobreexcitación de la máquina G3 y por tanto la tensión comienza a decrecer, principalmente en la barra 10 que es la barra más comprometida. Aproximadamente a los 300 segundos, la tensión en

esa barra se establece en un bajo valor de tensión, el más bajo del sistema, pero se mantiene la estabilidad.

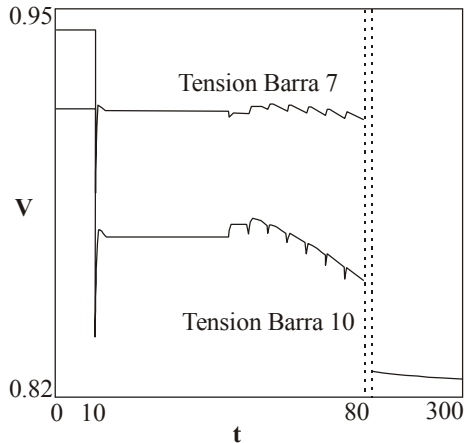


Figura 6. Salida Caso a).

En la figura 7 se muestra la salida para el caso b). En ella se puede observar que los primeros instantes después de la perturbación son similares al caso a) pero aproximadamente a los 70 segundos, la tensión en barra 10 cae violentamente arrastrando al resto del sistema al colapso de tensión. Esto era de esperar ya que en esa barra se consideró que el 75 % de la carga estaba compuesta por motores.

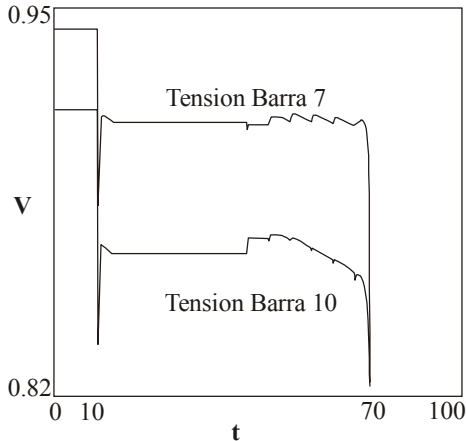


Figura 7. Salida Caso b).

4.0 CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis cualitativo y cuantitativo de la influencia del modelo de la carga en estudios de estabilidad de tensión. Según sus características el modelo puede ser estático o dinámico, pero se debe realizar un riguroso análisis relativo al tipo de modelo a aplicar según la proporción de motores (o cargas de características similares) que la componen. El modelo estático propuesto por CAMESA puede ser aplicado solamente cuando en su composición la proporción de

motores no sea el tipo de carga preponderante. Si esto no ocurriera, es necesario un detallado modelo dinámico de la misma a fin de no incurrir en errores.

5.0 APENDICE

Datos de Generación

	MW	MVAR	V(pu)	Ra	Xd
G1	3987.498	851.645	0.980	0.0046	0.21500
G2	1935.999	226.311	0.964	0.0046	0.21500
G3	1154.001	702.971	1.040	0.0046	0.21500

Datos de la carga

B	MW	MVAR
7	3545	1380
10	3260	910

Datos de la Líneas y transformadores

D - H	R	X	Y	Tap
1 - 4	0.0000	0.0020	0.0000	0.8857
2 - 5	0.0000	0.0045	0.0000	0.8857
3 - 6	0.0000	0.0125	0.0000	0.9024
4 - 5	0.0000	0.0040	0.0000	
5 - 6	0.0015	0.0288	1.1713	
6 - 7	0.0000	0.0030	0.0000	0.9625
6 - 8	0.0000	0.0026	0.0000	0.9500
8 - 9	0.0010	0.0030	0.0000	
9 - 10	0.0000	0.0010	0.0000	0.98125

Datos de los Transformadores reguladores

D - H	Vmax	Vmin	Tap max	Tap min	Paso
6 - 7	1.100	0.90	1.03	0.97	0.00625
9 - 10	1.100	0.90	1.03	0.92	0.00625

Datos de la Compensación

B	MVAR
6	763.00
7	600.00
8	1710.00

Datos Dinámicos (base de datos PSS)

0,'OLTTC1',9,10,T6,30,5,2/
 0,'OLTTC1',6,7,T4,35,5,2/
 1,'GENCLS',1,999,0/
 2,'GENROU',2,4.10,0.033,0.56,0.062,2.09,0,2.07,1.99,
 0.28,0.49,0.215,0.155,0,0/
 3,'GENROU',3,4.10,0.033,0.56,0.062,2.09,0,2.07,1.99,
 0.28,0.49,0.215,0.155,0,0/
 2,'SEXS',2,0.1,10,400,0.02,0,6/
 3,'SEXS',3,0.1,10,400,0.02,0,6/
 3,'MAXEX2',3,1,3.07,1.05,50,1.3,25,1.6,0,1,0.002,-5/
 7,'CLODBL',C1,25,0,0,60,0,2,0.0,0.0/
 10,'CLODBL',C2,75,0,0,20,0,2,0.0,0.0/

REFERENCIAS

- 1) Concordia, C. Ihara, S. "*Load Representation in Power System Stability Studies*". IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol PAS 101, No. 4, April 1982.
- 2) Hajagos, L.- Danai, B. "*Laboratory Measurements and Model of Moder Loads and their effect on Voltage Stability Studies*". IEEE transaction on Power Systems, Vol 13, No. 2, May 1998
- 3) IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance. "*Load Representation for Dynamic Performance Analysis*". IEEE Transaction on Power Systems, Vol 8, No. 2, May 1993.
- 4) IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance. "*Standard Load Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation*". IEEE Transaction on Power Systems, Vol 10, No. 3, August 1995.
- 5) Kundur, P. "*Power System Stability and Control*". McGraw-Hill Inc.1993.
- 6) Pal, M "*Voltage Stability Conditions Considering Load Characteristics*". Transaction on Power Systems, Vol 7, No.1, pp 243-249, February 1992.
- 7) Power Technologies Inc. PSS/E. Program Application Guide. Volumen II. 1999.
- 8) Task Force 38.02.11. Cigre Technical Brochure. "*Indices Predicting Voltage Collapse Including Dynamic Phenomena*". Electra, No.159, April 1995.
- 9) Taylor,C."*Power System Voltage Stability*". Mc Graw-Hill Inc.1994.