



# Determinación del estatismo del sistema electroenergético nacional de Cuba

Lázaro Guerra  
Antonio A. Martínez

Recibido: Octubre del 2006  
Aprobado: Diciembre del 2006

## Resumen / Abstract

El conocer el coeficiente de amortiguamiento de la carga de un sistema eléctrico es de vital importancia para el control de la frecuencia, pues permite conocer para una determinada variación de la frecuencia a partir de 60 Hz cuál debe ser la variación de la generación necesaria para restablecer de nuevo la frecuencia al valor nominal. En la bibliografía internacional se dan valores típicos de estatismo de la carga y se dice que deben estar entre 1 y 2 %. En este caso es importante determinar con la mayor precisión posible los valores reales de estatismo de la carga en diferentes horarios y meses del año. En el presente trabajo se describe un método para medir el estatismo en el SEN de Cuba y se relacionan los resultados obtenidos. Palabras clave: Estatismo de la carga, control de frecuencia

*Knowledge of load damping constant is necessary in frequency control, because it permits an efficient secondary control of frequency to return the system frequency to 60 Hz after a perturbation. Typical reported values of load damping constants are in the interval 1-2%. In the present paper authors describe a procedure to measure load damping constant of Cuban electric system in different seasons of the day and year.*

*Key words: Load damping constant, frequency control*

## INTRODUCCIÓN

En general, las cargas de un sistema de potencia están compuestas por una gran variedad de dispositivos eléctricos. Para cargas resistivas, tales como la carga de alumbrado o cargas térmicas como cocinas eléctricas, etc., la potencia eléctrica es independiente de la frecuencia. En el caso de cargas motoras, como ventiladores, extractores, bombas de agua, entre otras, la potencia demandada varía, aumentando cuándo aumenta la frecuencia y viceversa. La influencia de variaciones de cargas compuestas por combinación de cargas motoras y no motoras en la frecuencia del sistema se expresa por medio de la siguiente ecuación:<sup>1</sup>

$$\Delta P_g = \Delta P_c + D\Delta w_r$$

donde:

$\Delta P_g$ : Variación de la potencia activa que entregan las estaciones generadoras.

$\Delta P_c$ : Variación de la carga del sistema a 60 Hz.

$D\Delta w_r$ : Efecto que sobre la carga demandada tiene la variación de frecuencia.

$D$ : Constante de amortiguamiento de la carga.

La constante de amortiguamiento se expresa, como un cambio en porcentaje de la carga con respecto a un cambio de un 1 % de la frecuencia. Los valores típicos de  $D$  están entre un 1 o 2 %.<sup>1</sup> Un valor de  $D = 2$  significa que para un 1 % de variación de la frecuencia se produce un cambio del 2 % de la carga.

En la expresión anterior  $D\Delta w_r$  siempre tiene signo contrario a la variación de carga que origina la variación

de la frecuencia, o sea, siempre tiene signo contrario a  $\Delta P_C$ , si la carga aumenta, entonces la frecuencia cae por debajo de 60 Hz, y el resto de la carga del sistema debe disminuir al caer la frecuencia, o sea,  $\Delta P_C$  es positiva y  $D_{\Delta W_r}$  será negativa, lográndose en este caso el equilibrio cuando la generación del sistema aumenta en un valor  $\Delta P_G$  menor en valor que la variación original de la carga. Un efecto similar ocurre cuando se produce una disminución de la carga en el sistema.

Si se pudiera medir en un intervalo de tiempo la variación de la carga del sistema a 60 Hz y la variación que esta provoca en la generación sumaria del sistema, entonces sería posible medir el estatismo de la carga como:

$$D = (\Delta W P_G - \Delta P_C) / \Delta W$$

Basados en lo anterior, si fuese posible conocer la variación de la carga que ocurre cuando el sistema trabaja normalmente a frecuencia de 60 Hz o muy cercana a ese valor, y las variaciones de la frecuencia y generación que esta provoca entonces se podría medir el estatismo de la carga.

## DESARROLLO

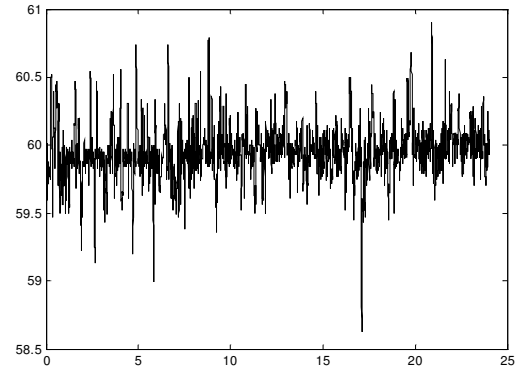
Para poder efectuar la medición de  $D$  se parte de una importante base de datos de mediciones en tiempo real de frecuencia, potencia sumaria generada en el SEN y carga de las acérras efectuadas simultáneamente cada 3 s.

Para efectuar los cálculos se utiliza el software Prodat que permite a partir de mediciones en tiempo real efectuadas cada 3 s tener los gráficos de potencia sumaria generada en el sistema, frecuencia, así como la potencia demandada por las acérras, lo anterior se muestra en las figuras 1, 2 y 3 que corresponden al 26 de diciembre de 2005.



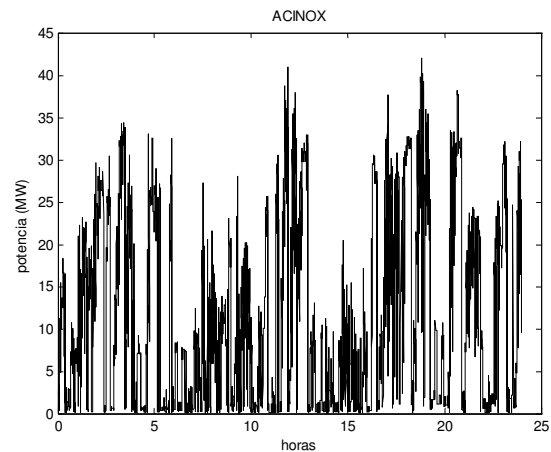
Carga total del SEN medida cada 3 s.

1



Frecuencia en el SEN medida cada 3 s.

2



Potencia demandada por Acinox medida cada 3 s.

3

## Procedimiento para el cálculo

Para el cálculo se procede de la siguiente manera:

- Se busca en el gráfico de frecuencia versus tiempo un instante en que la frecuencia se mantenga lo más cercana posible a 60 Hz al menos durante dos mediciones sucesivas (6 s), lo que permite suponer que el sistema está en equilibrio, o sea, que la potencia generada coincide con la potencia de la carga, y que a continuación se produce una variación brusca de frecuencia, que en lo fundamental se deba a las acérras solamente, lo cual será más exacto mientras menos dure el intervalo de tiempo considerado, se mide el salto de frecuencia, entre el instante inicial y el momento en que la frecuencia se estabiliza al menos en dos mediciones sucesivas, para asegurar que la potencia generada al final coincida con la de la carga y haya equilibrio.

- Se comprueba a través del gráfico de potencia de las acérras que la variación de frecuencia coincida con una variación brusca de la carga de las acérras,

Acinox y Antillana, determinándose el valor en megawatt (MW) del salto de potencia de ambas acerías.

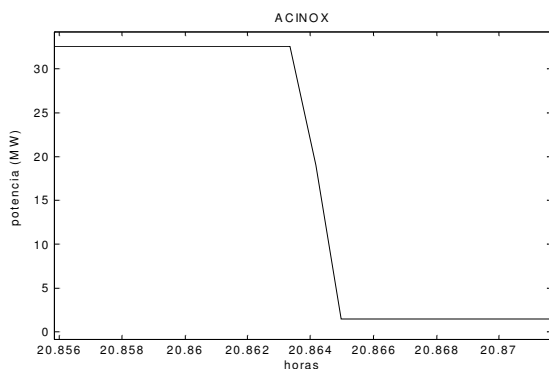
- Se busca en el gráfico de generación sumaria del sistema la variación de potencia generada que corresponde a esa variación de frecuencia.

Una vez efectuados los pasos anteriores se tienen para el intervalo de tiempo considerado:

- Valor de la variación brusca de carga en el sistema a aproximadamente 60 Hz que corresponderá con el salto de potencia de las acerías.
- Valor de la variación de frecuencia en el sistema debido a esa variación de cargas a 60 Hz.
- Valor de la variación de potencia sumaria generada en el sistema.

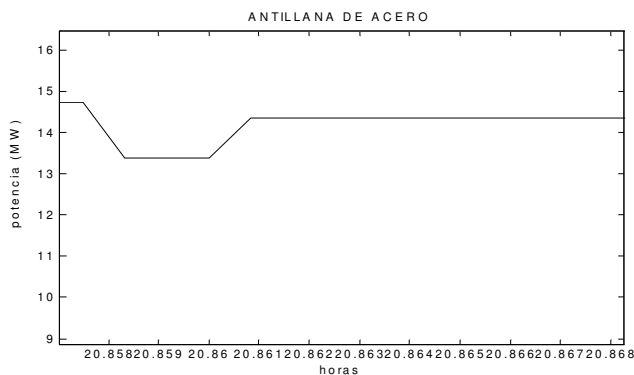
Lo anterior permite a partir de la expresión escrita al inicio obtener el valor de  $D$  en megawatt por hertz (MW/Hz).

Para ilustrar lo anterior se muestran en las figuras de la 4 a la 7 las ampliaciones de los gráficos antes señalados.



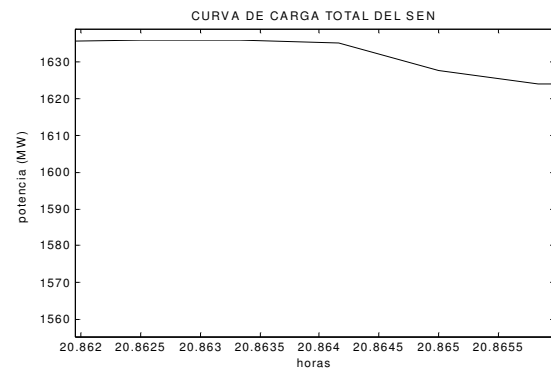
Variación brusca de potencia de Acinox el 26-12-05.

4



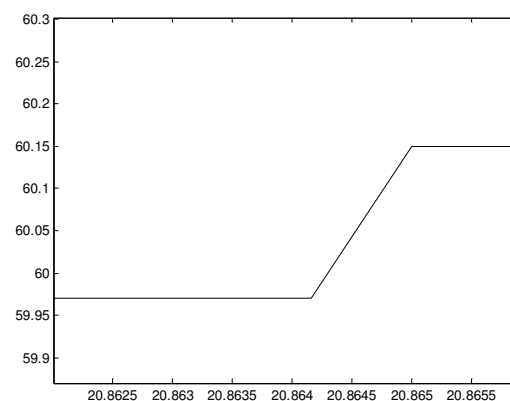
Variación de potencia de Antillana el 26-12-05.

5



Variación de potencia sumaria generada en el SEN.

6



Variación de frecuencia del sistema debida a saltos de potencia de acerías fundamentalmente.

7

De los gráficos se puede estimar que:

$$\Delta f = 60,15 - 59,975 = 0,175 \text{ Hz}$$

$$\Delta P_G = 1636,5 - 1623 = 13,5 \text{ MW}$$

$$\Delta P_C = 33,5 - 2 = 31,5 \text{ MW}$$

Por lo que se puede estimar  $D = (31,5 - 13,5) / 0,175 = 102,86 \text{ MW/Hz}$ .

Si se tiene en cuenta que en el intervalo 20-21 h del 26-12-05 la potencia media de la carga es de 1690,91 MW, entonces el valor en pu se calcula como  $(31,5 - 13,5)60 / (0,175 \times 1690,91) = 3,65$ . Lo que quiere decir que cambio de un uno por ciento de frecuencia produce un 3,65 % de variación de la carga (sobre la base de 1690,91 MW).

En la bibliografía occidental a este parámetro se le llama coeficiente de amortiguamiento de la carga. Los soviéticos acostumbran a utilizar como estadístico de la carga expresado en el porcentaje al inverso del

coeficiente de amortiguamiento,<sup>2</sup> calculado como se expresó anteriormente, en el porcentaje, o sea  $(1/D) \times 100$ , lo que correspondería en el caso calculado a  $(1/3,65) \times 100 = 27,39\%$ .

Teniendo como fundamento el procedimiento anterior, se elaboró un software para procesar el mes de diciembre de 2005 y 20 días de verano de 2005.

Los valores de estatismo de la carga según la nomenclatura soviética en el período de invierno de 2005 alcanzaron cifras pico de 40,998 %, durante la mañana y el día 37,24 %, y en la noche y madrugada 34,29 %. Los valores son lógicos si se tiene en cuenta que mientras mayores sean se necesitarán variaciones más elevadas de la frecuencia para producir una variación fija de la carga, o sea, menor es el efecto de amortiguamiento de la carga lo que es lógico que ocurra en mayor grado en el pico.

Si se calculan los coeficientes de amortiguamiento de acuerdo con la bibliografía occidental para diciembre de 2005, estos valores resultan para el pico 2,44, para la mañana y el día 2,69, y para la madrugada y noche 2,92, lo que quiere decir que durante el pico una variación de un 1% en la frecuencia produce una variación de un 2,44 % en la carga, en la mañana y día un 2,69 %, y en la noche y madrugada un 2,92 %. En la bibliografía internacional se dice que los valores típicos de coeficiente de amortiguamiento están entre 1 y 2, los resultados obtenidos para este sistema son un poco superiores.

En el caso del verano, los valores de estatismo de la carga alcanzaron cifras pico de 35,91 %, durante la mañana y el día 32,76 %, y para la madrugada y noche 31,28 %, coincidiendo de nuevo los mayores valores en el pico. A estas cifras les corresponden coeficientes de amortiguamiento de 2,78; 3,05 y 3,196 respectivamente, siendo el período de mayores valores la madrugada y noche, y más elevados aún los del verano por el incremento del uso de equipos de refrigeración y ventiladores.

A partir de los valores obtenidos y teniendo en cuenta los aumentos o decrementos que se planifican en la carga motora respecto a la no motora para los distintos períodos del día en invierno y verano, es posible estimar los valores de amortiguamiento de la carga para el 2008 y tenerlos en cuenta para los estudios de control de frecuencia, así como de estabilidad que se ejecutarán.<sup>3</sup>

## CONCLUSIONES

Se ha expuesto el procedimiento para el cálculo del estatismo del Sistema Electroenergético Nacional Cubano a partir de mediciones en tiempo real obtenidas en el Despacho Nacional de Cargas. Los valores obtenidos son superiores a los típicos reportados internacionalmente en otros sistemas energéticos, sin embargo, son inferiores a los medidos en 1982 por el grupo técnico de empresa Energocetproekt.

Los valores obtenidos resultan lógicos porque son superiores en verano y son mínimos en el pico respecto a otros períodos del día.

## REFERENCIAS

1. Kundur, P.: *Power System Stability and Control*, McGraw Hill Inc., New York, 1994.
2. *Informe previo a la introducción de un sistema automático de control de la frecuencia en Cuba*, Energocetproekt, URSS, 1982.
3. *Estudio de la dinámica de la frecuencia en el SEN Cubano para el 2008, Informe preliminar*, Grupo de Desarrollo Unión Eléctrica, Junio, 2006.

## AUTORES

### Lázaro Guerra Hernández

Ingeniero Electricista, Máster en Ciencias, Instructor, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

e-mail: lazaro@electrica.cujae.edu.cu

### Antonio A. Martínez García

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

e-mail: amg5057@yahoo.es

