



Análisis de la regulación primaria de la frecuencia con motores fuel oil y centrales termoeléctricas

Ivett Martínez
Lazaro Guerra

Recibido: Abril del 2008
Aprobado: Mayo del 2008

Resumen / Abstract

En este artículo se mencionan los conceptos básicos del proceso de regulación de frecuencia, así como su importancia para una correcta operación del sistema eléctrico. Se presentan los resultados de la simulación realizada para el verano.

Palabras clave: Regulación, diapasones, frecuencia, estatismo

In this article the basic concepts of the process of regulation of frequency are mentioned, as well as their importance for a correct operation of the electric system. The results of the simulation for summer are presented

Key words: Regulation, pitches, frequency, statism

INTRODUCCION

En Cuba el auge de la generación distribuida (GD) ha trazado nuevas pautas en la operación del Sistema Electro-energético Nacional (SEN). La incorporación de los grupos electrógenos diésel como una nueva forma de generación dentro del SEN ha motivado la realización de diferentes estudios para analizar el comportamiento del sistema eléctrico cubano ante esta nueva estructura de generación. Se espera durante el presente año la interconexión paulatina de los motores fuel (MF) dentro del SEN como otra forma de GD.

En este artículo se explican brevemente los conceptos básicos del proceso de regulación de frecuencia y se

muestran los resultados de la modelación de la dinámica de la frecuencia para el verano del 2007.

PROCESO DE REGULACIÓN DE LA FRECUENCIA

Regulación de la frecuencia en términos generales, se le llama a todas aquellas acciones necesarias para mantener la frecuencia dentro de las tolerancias permisibles definidas para cada sistema eléctrico.

Se define como desviación de frecuencia la diferencia entre la magnitud real de la frecuencia y su valor nominal, la desviación permisible es aquella que no sobrepasa los límites establecidos lo cual también es conocido como banda muerta y para el sistema electro-energético cubano (SEN), este rango de desviación

permisible de frecuencia se encuentra en el intervalo entre 59,7 y 60,2 Hz.¹

Las desviaciones de la frecuencia pueden producir afectaciones por vibraciones en las turbinas de vapor que hacen imprescindible el acortamiento de los períodos de mantenimiento. Estas afectaciones dependen del valor de la desviación de la frecuencia y del tiempo de duración de la misma. Adicionalmente, producen desviaciones en la medición del tiempo de relojes eléctricos que se alimenten del sistema.

La regulación primaria es la regulación inmediata de las unidades generadoras como respuesta proporcional a variaciones instantáneas y sensibles de la frecuencia. Las unidades responden por el estatismo de su sistema de regulación, para compensar las variaciones de frecuencia, deteniendo la misma a un valor diferente al inicial. La potencia de regulación primaria¹ se completa en un intervalo de 20 a 30 s.

Sin embargo, la regulación secundaria de la frecuencia que se realiza aumentando la velocidad de vacío de las unidades que están efectuando la regulación se aprecia gráficamente con un desplazamiento de la característica de potencia vs. frecuencia de forma paralela. Se define como estatismo la pendiente de la característica de regulación de la unidad, determinando la relación que existe entre la variación de potencia y la variación de frecuencia.

El estatismo de un sistema energético es una de las características más importantes y depende fundamentalmente de la composición de los equipos que forman parte de él, de las características de los reguladores de velocidad de las unidades que realizan el control primario, de la composición de los consumidores, de la reserva de la potencia generadora y su distribución entre las unidades generadoras.²

Este proceso de restablecimiento de la frecuencia a través de la regulación secundaria demora varios minutos y puede efectuarse de dos formas:¹

- **Manual**, cuando el operador acciona el mando de variación de potencia de las unidades hasta que la frecuencia llegue al valor especificado.

- **Automática**, cuando a través de un autómatas se varía la potencia de la unidad para compensar la desviación de frecuencia del valor seleccionado.

Es necesario aclarar que para realizar un buen control de la frecuencia no basta con tener autómatas en las unidades generadoras que de manera automática traten de llevar la frecuencia a 60 Hz. Para ello es necesario poseer un control centralizado de la frecuencia (AGC) que realice esta acción de manera económica para que no exista la posibilidad de sobre y desregulación de la frecuencia.

En la regulación primaria pueden participar todas las unidades del sistema, siempre y cuando estén en condiciones de reaccionar libremente a las variaciones de frecuencia que ocurren en el mismo. En este aspecto en el mundo existen dos tendencias bien definidas:

- Dejar todos los reguladores de velocidad de todas las unidades libres para hacer la regulación primaria de la frecuencia.

- Fijar las unidades y el porcentaje de la potencia nominal que van a asimilar en la regulación primaria estas.

En el proceso de la regulación secundaria participan las unidades que se designen para esta tarea por el DNC, y las restantes pudieran trabajar a potencia constante.

Es preciso para efectuar un adecuado control de frecuencia en cualquier sistema eléctrico de potencia (SEP), conocer los diapasones de potencia necesarios para dicho control, lo cual depende de las características de la carga del sistema y adicionalmente se necesitan conocer los parámetros de los sistemas de control de los generadores y sus características.

En los últimos años han existido avances importantes en las técnicas de control de la frecuencia, motivado por la introducción en los sistemas de cargas no conformes, que producen bruscas oscilaciones de la carga, lo cual requiere de un estudio detallado para obtener un control eficiente.

El cálculo de los diapasones y la reserva horaria necesaria para la regulación de la frecuencia, partiendo de cualquier pronóstico de la demanda, es el resultado de un trabajo realizado por especialistas de Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL)³ a partir de un estudio realizado de caracterización de la carga en periodos de invierno y verano.

A continuación se explican los criterios considerados para la modelación realizada de la dinámica de la frecuencia para el período analizado.

MODELACIÓN

Para realizar la modelación de las unidades generadoras es necesario mencionar la composición de generación que se está utilizando, compuesta por centrales termoeléctricas y motores de fuel oil para la regulación de la frecuencia.

Por no encontrar los modelos de las turbinas, gobernador y generador de las unidades térmicas fue

necesaria la utilización de modelos en cada una de ellas extraídos del texto.⁴

En el caso de los motores de fuel oil se va a tener en cuenta para el análisis de los motores de dos fabricantes, Man (alemán) y Hyundai (coreano). Los modelos de cada una de estas unidades y los parámetros que se utilizaron en el análisis fueron suministrados por los fabricantes.

Se utilizó el programa Matlab para la simulación y analizar dos periodos del día: Madrugada y horario diurno de máxima demanda.

Madrugada. Aunque el diapasón para la regulación primaria de la frecuencia es el más bajo, también es donde hay menos unidades generadoras en línea y, por tanto, menos inercia en el sistema, lo cual puede ser una condición peligrosa para la regulación primaria de la frecuencia. Ver figura 1.

Hora de máxima demanda. Aunque es la hora donde hay más unidades generadoras en línea y por tanto más inercia también, es la hora del día donde el diapasón para la regulación primaria de la frecuencia es mayor, por tanto, esta es la otra condición peligrosa para la regulación primaria de la frecuencia

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para la modelación del régimen de la madrugada se aplicó una perturbación de 107 MW y del 117 MW para el horario de máxima demanda que corresponden al valor de diapasón necesario en cada caso para la regulación primaria obtenido del cálculo realizado

• Análisis de la madrugada

En este caso se tiene en cuenta para la regulación primaria las siguientes unidades termoeléctricas:

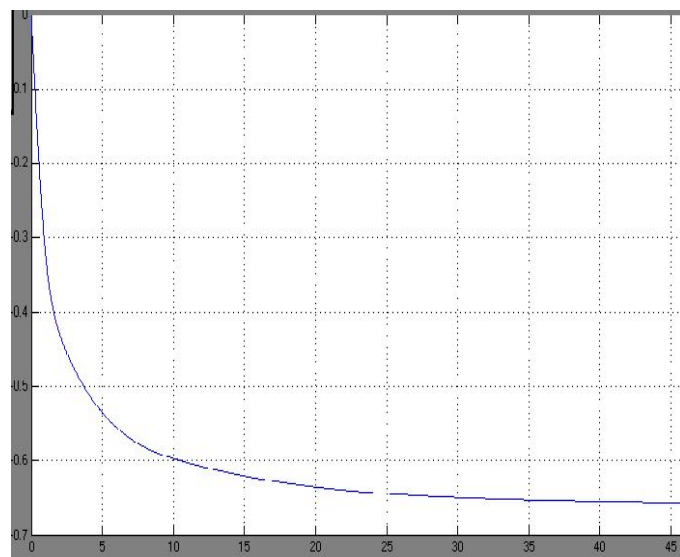
- Habana 2
- Guiteras
- Céspedes 3
- 10 de octubre 4
- Felton 2

Motores fuel oil:

- Mariel
- San Agustín
- Ferroníquel

Como conclusión de la modelación realizada se observa que para la madrugada de verano del 2007 con las unidades designadas para hacer la regulación primaria, la caída de frecuencia ante la mayor

perturbación posible en ese período es de 0,66Hz por lo cual la frecuencia en ese caso sería de 59,34Hz lo que no implicaría descarga automática de la frecuencia y el sistema con la actuación posterior de la regulación secundaria de las unidades preparadas para esa función podrían llevar la frecuencia nuevamente a valores cercanos a 60Hz.



Variación de frecuencia en el SEN debida a un escalón de 107 MW en la madrugada.

1

Otra conclusión que se pudo obtener del análisis es que todas las unidades que se tomaron para regular la frecuencia llegaron hasta su potencia máxima debido a que en el caso de los motores fuel oil los reguladores de velocidad se ajustaron para actuar de manera libre, lo cual no ocurrió con las termoeléctricas; en futuros trabajos se analizará la mejor estrategia para realizar esta regulación con la menor cantidad de unidades regulando frecuencia y con el menor porcentaje posible de potencia a variar por cada unidad. Ver figuras 2 y 3.

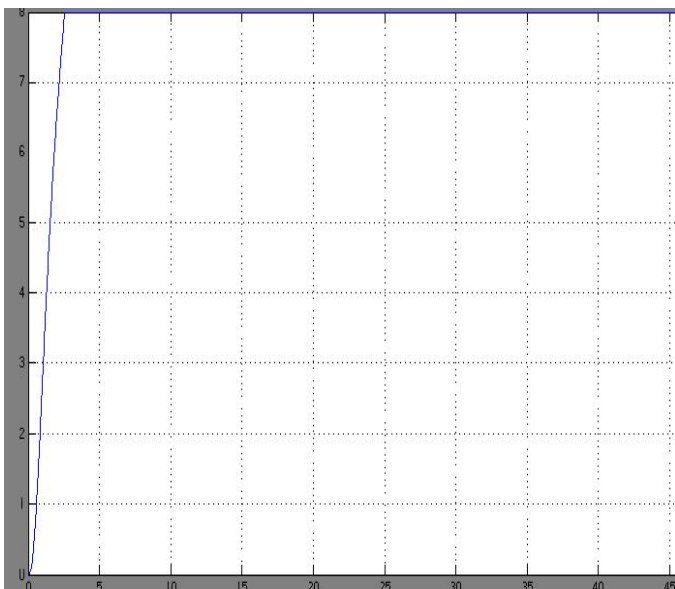
• Análisis del horario de máxima demanda

En este caso se tiene en cuenta para la regulación primaria las siguientes unidades termoeléctricas:

- Habana 2
- Guiteras
- Céspedes 3
- 10 de octubre 4
- Felton 2

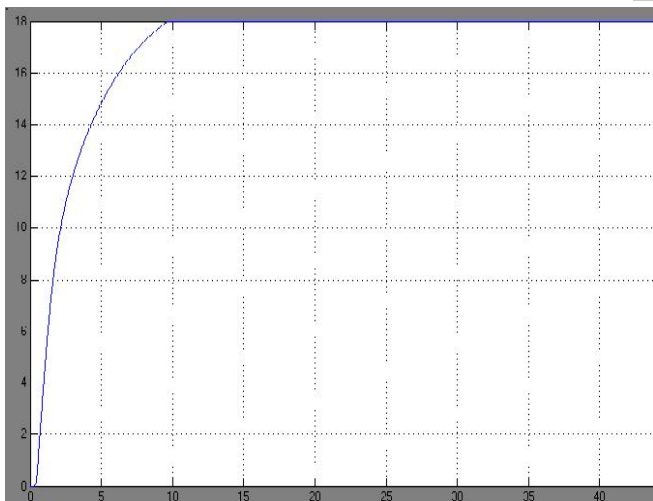
Motores fuel oil:

- Mariel.
- San Agustín.
- Ferroníquel
- Cujae
- Regla
- Briones
- Apolo
- Camagüey



Variación de potencia de unidades que hacen control primario (CMC4).

2

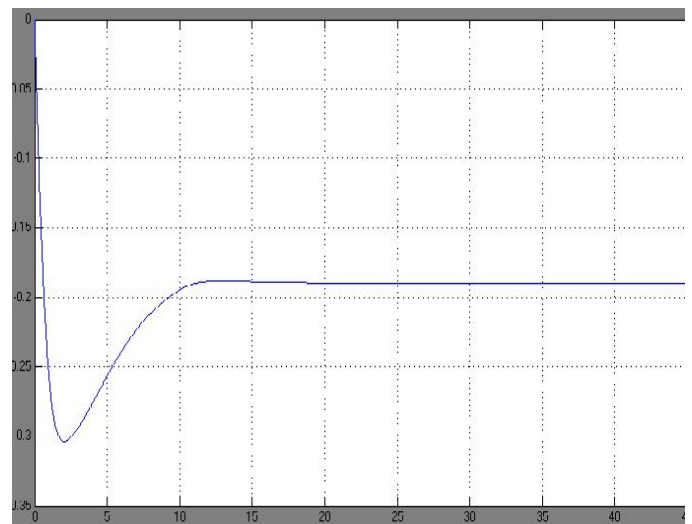


Variación de la potencia de las unidades que hacen el control primario (Motores Hyundai 1,7 MW).

3

En la figura 4 se presentan los resultados obtenidos en este caso. Para el horario de la máxima hay más unidades generadoras realizando el control primario y se aplica una perturbación de 117 MW.

Como conclusión de la modelación se puede observar que en el horario de máxima demanda producto de la alta inercia que existe en el sistema, además del aumento de motores fuel oil que están participando en la regulación primaria de la frecuencia, el valor de caída es menor que en el caso de la madrugada (59,7 Hz) y con un tiempo de establecimiento mucho menor a pesar de que el máximo valor de perturbación es mayor que en el caso anterior, lo cual evidencia la importancia tanto del valor de inercia del sistema como de la cantidad de máquinas realizando la regulación primaria.



Variación de frecuencia en el SEN debido a un escalón de 117 MW.

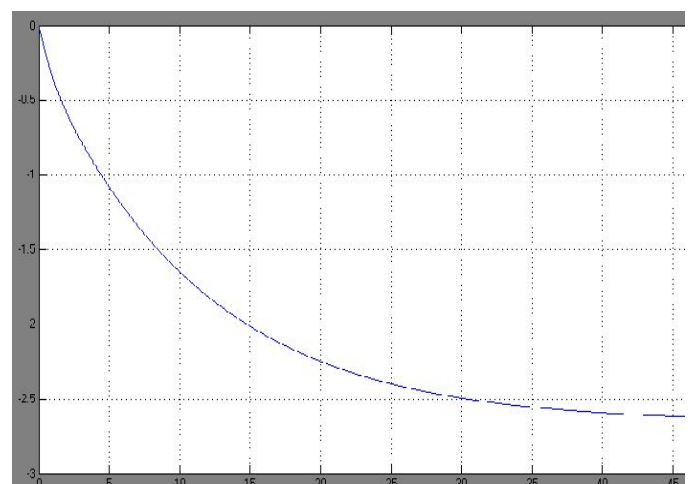
4

Regulación primaria solo con motores fuel oil

- En la madrugada (figura 5).
- Para la máxima demanda (pico)

Se puede apreciar en las figuras 5 y 6, la variación de la frecuencia del SEN para el caso de la madrugada y la hora de máxima demanda con las mismas condiciones que el caso anterior, en el caso de la madrugada la frecuencia ante la máxima perturbación en ese período cae a valores cercanos de 57,4 Hz provocando descarga automática de la frecuencia.

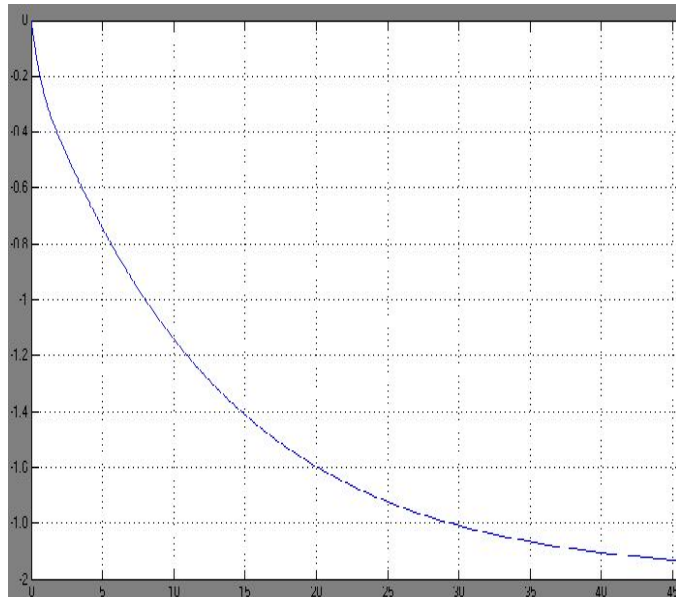
Para la hora de máxima demanda la caída de frecuencia (valores cercanos a 58,1 Hz) provoca también descarga automática de la frecuencia, corroborando la conclusión de la importancia de tener una inercia lo suficientemente alta en el SEN y una cantidad de unidades suficientes para realizar el control primario de la frecuencia.



Variación de la frecuencia del SEN sin regulación en las CTE con un escalón de 107 MW.

5

En la tabla 1 se resumen los resultados de la dinámica de la frecuencia



Variación de la frecuencia del SEN sin regulación en las CTE con un escalón de 117 MW

6

Tabla 1
Resumen de dinámica de la frecuencia Verano 2007

Regulación	Período	Valor de frecuencia (Hz)	Actuación DAF
CTE y MF	Madrugada	59,34	No actúa
	Pico	59,7	No actúa
MF solamente	Madrugada	57,4	Sí actúa
	Pico	58,1	

CONCLUSIONES

- Con la estructura de generación que se prevé para el año 2007, y realizando la regulación primaria de la frecuencia con las termoeléctricas y los motores ante la máxima perturbación posible en el sistema, tanto en la madrugada como en el horario de máxima demanda en condiciones normales de operación, la frecuencia no decrece lo suficiente para que ocurra descarga automática de frecuencia por lo cual en esa condición el sistema puede operarse sin interrupción del servicio.
- Con la estructura de generación que se prevé para el año 2007 y realizando la regulación primaria de la frecuencia solo con los motores fuel, ante la máxima perturbación posible en el sistema en condiciones

normales de operación, en la madrugada y en el pico los motores no pueden realizar la regulación de la frecuencia del sistema para evitar una descarga automática de la frecuencia.

- Quedó demostrada la vital importancia que tiene para la regulación de la frecuencia poseer la inercia y reserva suficiente para la regulación primaria de la frecuencia del SEN.

REFERENCIAS

1. *Manual de Procedimientos. Procedimiento DN GO 0211 Instrucción para la regulación de frecuencia de las CTE y el Despacho Nacional del Carga.*
2. *Informe previo a la introducción de un sistema automático de control de la frecuencia en Cuba, t. I, URSS, 1982.*
3. **Martínez, A. y L. Guerra:** *Informe para la determinación de diapasones de potencia necesaria para el control de frecuencia de acuerdo con el pronóstico de UNE del 2008, Ciudad de La Habana, 2008.*
4. **Parbha, Kundur:** *Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc, 1994.*

AUTORES

Ivett Martín González

Ingeniera Electricista, Despacho Nacional de Carga (DNC), Unión Eléctrica, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail: ivetm@dnc.minbas.cu

Lázaro Guerra Hernández

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, 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.