



Comparación de la respuesta de AGC's centralizados y en cascada

Palabras clave: AGC's centralizados, AGC's en cascada, estabilidad, simulación.

Resumen

En los AGC's centralizados el control frecuencia-potencia secundario controla la frecuencia y el intercambio neto con todos los sistemas vecinos. En sistemas eléctricos de configuración radial, los denominados AGC's en cascada controlan la frecuencia y el intercambio con el sistema que lo conecta al sistema de mayor tamaño. Este artículo compara la respuesta de los AGC's centralizados y en cascada.

Introducción

La misión del control frecuencia-potencia en los sistemas interconectados es el mantenimiento de la frecuencia y de los intercambios con los sistemas vecinos ante variaciones de la generación o la demanda [1]. El control frecuencia-potencia se realiza por medio de dos lazos de control anidados que actúan en diferentes escalas de tiempo: el control primario realizado por los reguladores carga-velocidad de los grupos generadores y el control secundario realizado por el control automático de generación (Automatic Generation Control, AGC, en la literatura técnica en inglés). El control frecuencia-potencia secundario tiene por misión eliminar los errores de frecuencia

y de intercambio que quedan en el sistema tras la actuación del control frecuencia-potencia primario.

Cuando un sistema está interconectado con varios sistemas, el control frecuencia-potencia secundario controla el error del intercambio neto con todos los sistemas. Sin embargo, cuando la conexión de los sistemas es radial y el tamaño es muy diferente, entonces el control frecuencia-potencia secundario puede controlar sólo el intercambio con el sistema más grande. Un ejemplo puede ayudar a comprender mejor este caso. El sistema peninsular español está conectado con Francia, Portugal y Marruecos. En la configuración estándar del AGC, que denominaremos



A. Fernández

Ingeniero Industrial del ICAI. Dirección de Mercado Eléctrico. Endesa.

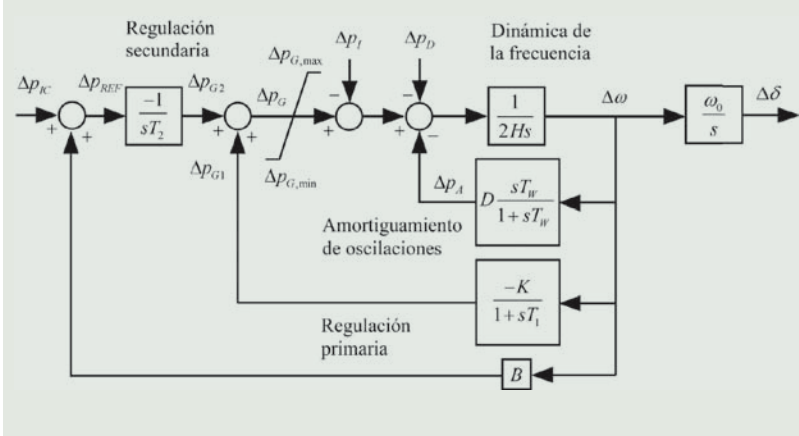


L. Rouco

Dr. Ingeniero Industrial. Profesor de ICAI e Investigador del IIT.

Comentarios a:
comentarios@icai.es

Figura 1. Modelo de un área



centralizado en este artículo, el AGC del sistema español controlaría el intercambio neto con Francia, Portugal y Marruecos ([2], [3]). Sin embargo, debido al tamaño de los sistemas portugués y marroquí y a que sólo el sistema español está conectado con el sistema francés, el AGC español sólo controla el intercambio con Francia. Por otra parte, los AGC portugués y marroquí sólo controlan sus respectivos intercambios con el sistema español (las desviaciones de los intercambios de los sistemas portugués y marroquí con el sistema español pueden considerarse perturbaciones en la demanda del sistema español). Además, el intercambio entre los sistemas español y francés sólo es controlado por el AGC español (la desviación del intercambio entre el sistema español y francés es una perturbación en la demanda del sistema francés). Esta configuración de los AGC se denomina en cascada.

Este artículo compara la respuesta de los AGC's centralizados y en cascada en el caso

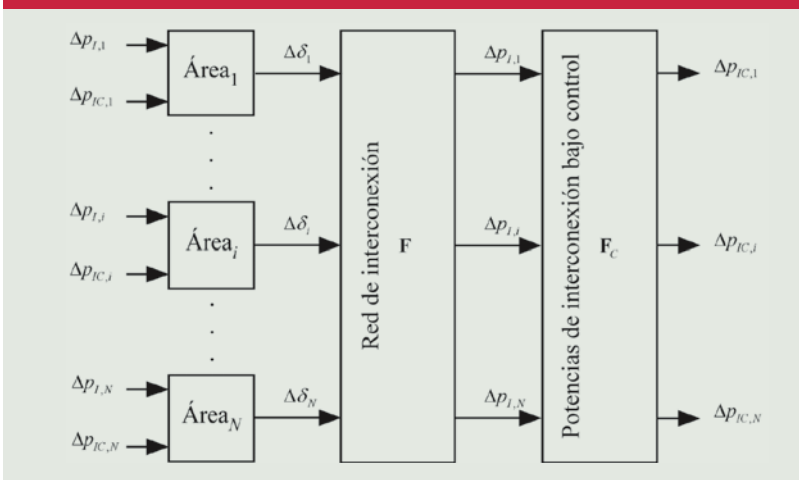
de la implantación de un AGC en el sistema interconectado del norte de África, formado por Marruecos, Argelia y Túnez, conectado a la UCTE a través del sistema español [4]. Para ello se han desarrollado modelos de simulación que reflejen los aspectos fundamentales del comportamiento de la respuesta de los controles frecuencia-potencia primario y secundario, y que permitan implantar fácilmente AGC's centralizados y en cascada en sistemas de diferentes tamaño.

Modelo de simulación

Los componentes del modelo de simulación son los modelos de las áreas y el modelo de la interconexión de las áreas. El modelo de cada área está detallado en la Figura 1. Sus entradas son la potencia de intercambio y la potencia de intercambio en control, y su salida es el ángulo. La Figura 2 muestra el modelo de interconexión de las áreas. El modelo comprende el modelo de cada área, el modelo de las interconexiones y el modelo de los intercambios en control. Todas las variables son desviaciones en relación a sus puntos de funcionamiento. Debe notarse que cuando se considera un AGC centralizado las potencias de intercambio y de intercambio en control coinciden. Sin embargo, cuando se considera un AGC en cascada las potencias de intercambio y de intercambio en control pueden no coincidir:

El modelo de cada área comprende: el modelo de la dinámica del rotor de los generadores del área (supone frecuencia uniforme en cada área); el modelo del amortiguamiento de las oscilaciones mecánicas entre áreas (no confundir con la variación de la demanda con la frecuencia); el modelo de la regulación primaria (caracterizado por un sistema de primer orden cuya ganancia es el inverso del estatismo permanente y cuya constante de tiempo es de 10 segundos); y el modelo de la regulación secundaria (cuya entrada es el error de control de área, gobernada por un integrador que en lazo cerrado da lugar a un sistema de primer orden de constante de tiempo 100 segundos). El modelo de amortiguamiento de las oscilaciones mecánicas entre las áreas representa, de forma aproximada, la contribución de los controles de la excitación de los generadores (estabilizadores del sistema de potencia) al amortiguamiento de las citadas oscilaciones. Se ha representado el filtro paso alto de los estabilizadores del sistema de potencia, que logra que estos dispositivos no actúen en caso de un error en régimen permanente de la fre-

Figura 2. Modelo de la interconexión de las áreas



cuencia del área (velocidad de los generadores del área).

El modelo de las interconexiones está dado por las ecuaciones linealizadas de la red eléctrica, que relaciona las variaciones de los ángulos internos de los generadores con las potencias activas suministradas por los generadores. Estas ecuaciones se pueden aproximar a su vez a las del flujo de cargas en corriente continua de la red eléctrica, reduciendo a los nudos internos de los generadores.

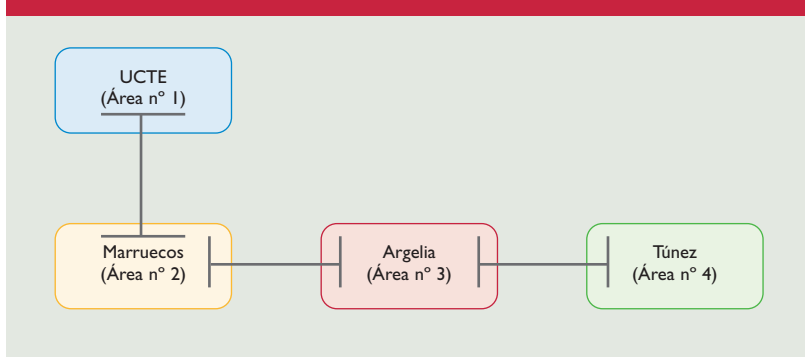
Resultados

Se estudia el comportamiento del sistema de cuatro áreas correspondiente al sistema interconectado del norte de África en su conexión a la UCTE (la Figura 3 muestra su topología) cuando cada sistema está equipado con AGC's centralizados o con AGC's en cascada. Cuando cada sistema está equipado con AGC's en cascada, todos los AGC's controlan la frecuencia y además el AGC's del área 2 controla el intercambio entre las áreas 1 y 2; el AGC del área 3 controla el intercambio entre las áreas 2 y 3, y el AGC del área 4 controla el intercambio entre las áreas 3 y 4. Las potencias base de cada área son respectivamente 390.000, 3.200, 5.600 y 2.000 MW (ver [3] y [5]).

El estudio del comportamiento del citado sistema analiza tres aspectos: la estabilidad del modelo lineal y las respuestas de los modelos lineal y no-lineal. La Tabla I compara los autovalores de los modelos lineales del sistema de cuatro áreas con los AGC's centralizados y en cascada. Se comprueba en primer término que tanto los AGC's centralizados como los AGC's en cascada son sistemas estables. Mediante los factores de participación se han obtenido las relaciones entre los autovalores y los componentes del modelo descritos por sus variables de estado [6]. Se aprecian autovalores que corresponden a la dinámica de los rotores (oscilaciones electromecánicas), a la regulación primaria, a la regulación secundaria y a los filtros de los amortiguadores de oscilaciones. Se aprecia que, de una configuración a otra, los autovalores asociados a la regulación secundaria experimentan una modificación: se pasa de cuatro autovalores reales en el caso de AGC's centralizados a dos autovalores reales y a una pareja de autovalores complejos conjugados, en el caso de AGC's en cascada.

A continuación se considera la respuesta tras perturbación, consistente en una varia-

Figura 3. Topología de un sistema de cuatro áreas correspondiente al sistema interconectado del norte de África



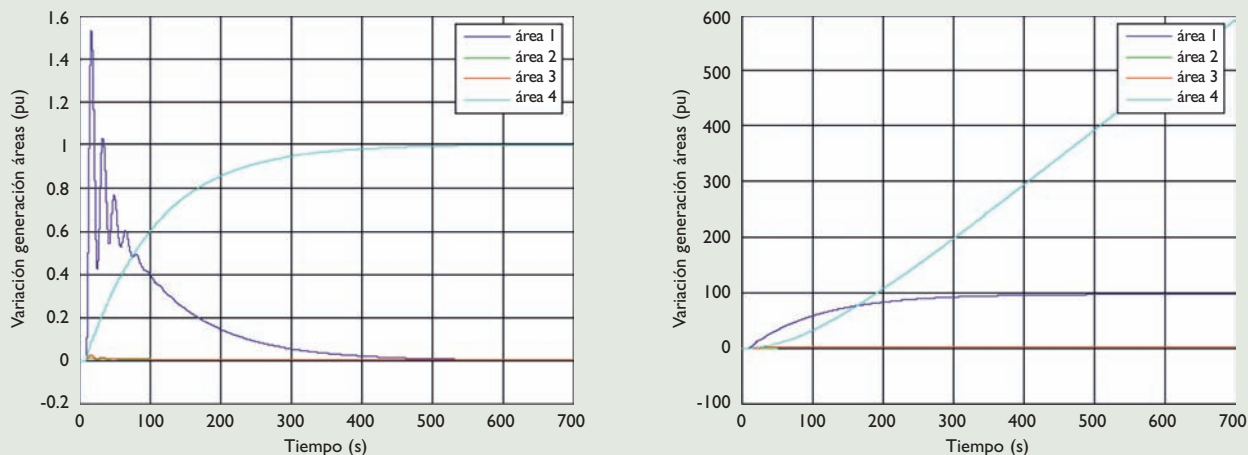
ción de la potencia demandada de 100 MW en el área 4, suponiendo que no hay límites de la capacidad de regulación de las áreas. La Figura 4 y la Figura 5 muestran la variación de potencia generada y de energía en cada área cuando los sistemas están equipados con AGC's centralizados y AGC's en cascada, respectivamente.

En un sistema equipado con AGC's centralizados, ante una variación de demanda en el sistema más alejado (área 4) del gran sistema que sirve de apoyo (área 1), sólo

Tabla I. Comparación de los autovalores del modelo lineal del sistema de cuatro áreas con AGC's centralizados y en cascada

	AGC's centralizados		AGC's en cascada	
	Real	Imaginaria	Real	Imaginaria
Complejos	-2,8595	17,2000	-2,8618	17,2010
	-2,7107	13,6370	-2,7124	13,6370
	-0,5801	3,3566	-0,5764	0,3864
	-0,0540	0,3864	-0,0540	0,3864
			-0,0104	0,0019
			-11,2330	
			-10,0810	
			-5,8188	
			-5,5211	
Reales	-0,0999		-0,0999	
	-0,0998		-0,0999	
	-0,0985		-0,0984	
	-0,0100		-0,0091	
	-0,0100		-0,0087	
	-0,0100			
	-0,0091			
	0,0000		-0,0000	
Variables de mayor participación				
Rotores				
Regulación primaria				
Regulación secundaria				
Amortiguadores de oscilaciones				

Figura 4. Variación de potencia generada y energía en cada área ante una variación de potencia demandada en el área n° 4, cuando los sistemas están equipados con AGC's centralizados



experimentan variación en su potencia generada el sistema donde se experimenta la variación de demanda y el gran sistema. Lógicamente esa potencia de apoyo del gran sistema al sistema que experimenta la variación de demanda pasa por todas las interconexiones. En un sistema con AGC en cascada, ante la misma perturbación, todos los sistemas experimentan variaciones en su potencia generada. Sin embargo, en este caso sólo entrega una energía neta al sistema adyacente a aquel que experimenta la variación de potencia demandada.

Finalmente se simula la misma perturbación considerando que cada área tiene una reserva a subir y a bajar del 1,5% de su potencia (5.850, 48, 84 y 30 MW). La Figura 6 y la Figura 7 muestran la variación de frecuencia y la variación de potencia generada

en cada área ante una variación de potencia demandada de 100 MW en el área n° 4, cuando los sistemas están equipados con AGC's centralizados y AGC's en cascada, respectivamente. Cuando los sistemas están equipados con AGC's centralizados queda un error de frecuencia en régimen permanente, mientras que cuando están equipados con AGC's en cascada ese error de frecuencia en régimen permanente es nulo. En relación a la distribución de las potencias generadas, se aprecia que cuando los sistemas están equipados con AGC's centralizados, es el área mayor la que suple la potencia demandada por el área n° 4 no aportada por ella misma. Por el contrario, cuando los sistemas están equipados con AGC's en cascada, es el área vecina la que suple la potencia demandada por el área n° 4.

Figura 5. Variación de potencia generada y energía en cada área ante una variación de potencia demandada en el área n° 4 cuando los sistemas están equipados con AGC's en cascada

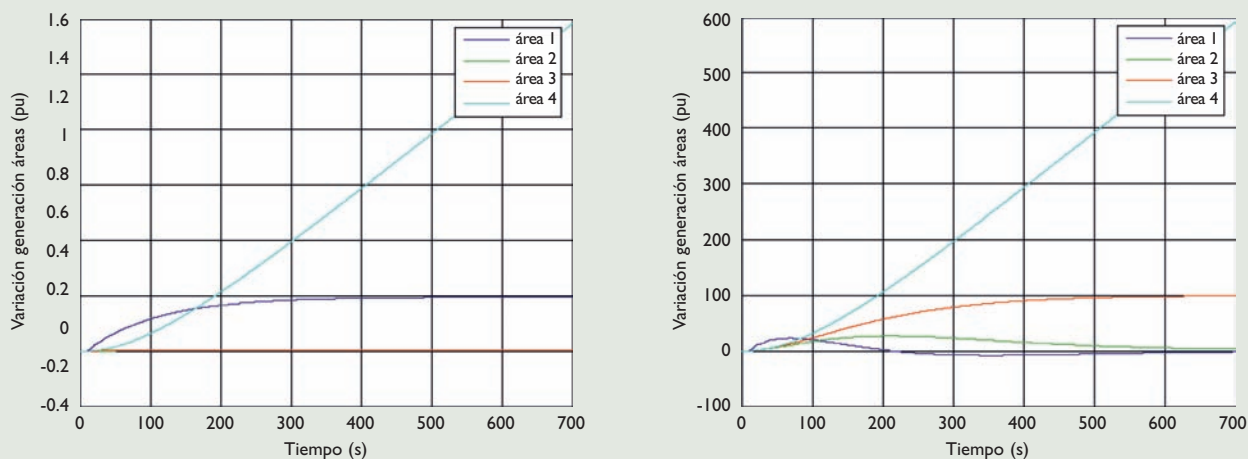


Figura 6. Variación de frecuencia y potencia generada en cada área ante una variación de potencia demandada en el área n° 4, cuando los sistemas están equipados con AGC's centralizados y las áreas tienen limitada su reserva al 1,5%

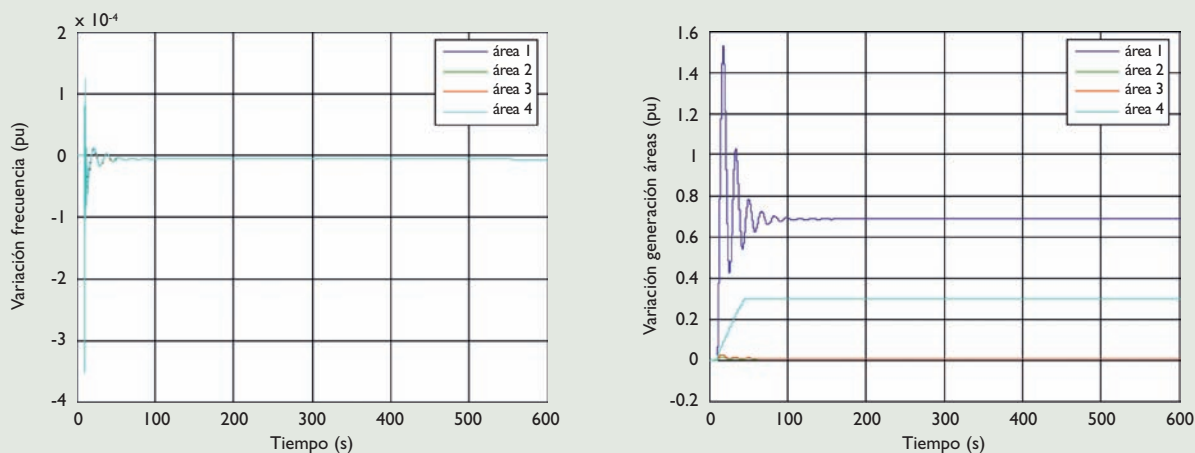
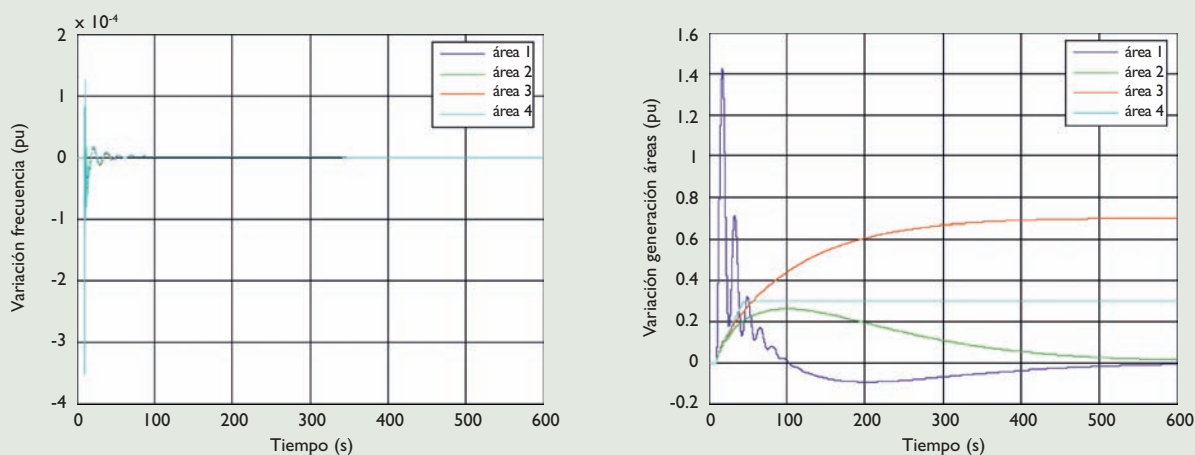


Figura 7. Variación de frecuencia y potencia generada en cada área ante una variación de potencia demandada en el área n° 4, cuando los sistemas están equipados con AGC's en cascada y las áreas tienen limitada su reserva al 1,5%



Conclusiones

Este artículo compara el comportamiento de sistemas eléctricos con AGC's centralizados y en cascada. Para ello se ha desarrollado un modelo apropiado de simulación que refleja los aspectos fundamentales de su comportamiento. Se ha comprobado que tanto los sistemas con AGC's centralizados como con AGC's en cascada son estables. También se ha analizado las respuestas lineal y no lineal. La respuesta no-lineal aparece cuando se tiene en cuenta la limitación de reserva en cada área. Ambos esquemas (AGC's centralizados y en cascada) ofrecen ventajas e inconvenientes. En caso de que se preste atención a la respuesta lineal, los AGC's centralizados son superiores. Por el contrario, si presta atención a la respuesta no lineal, los AGC's en cascada son superiores. ■

Referencias

- [1] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw Hill, 1994.
- [2] I. Egidio, F. Fernández, L. Rouco, E. Porras y A. Sáiz, *El Control Automático de Generación en el Sistema Peninsular Español*. Anales de Mecánica y Electricidad, Vol. LXXXV, Fascículo III, mayo-junio 2008, pág. 26-31.
- [3] "Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity (UCTE)", www.ucte.org
- [4] J. M. Rodríguez, C. Puentes, V. González, L. Ballester y G. de Montravel, *La Extensión de la Zona Síncrona de la UCTE. El Caso Interconexión Túnez-Libia*, XI Encuentro Regional Iberoamericano de Cigré, Hernandarias, Paraguay, 22-26 mayo 2005.
- [5] "Arab Union of Producers, Transporters and Distributors of Electricity", <http://www.auptde.org>
- [6] I. J. Pérez-Arriaga, G. C. Verghese, F. C. Schweppe, *Selective Modal Analysis with Applications to Electric Power Systems. Part I: Heuristic Introduction. Part II: The Dynamic Stability Problem*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 9, September 1982, pp. 3117-3134.