

DISEÑO DE UN COMPENSADOR POR ADELANTO PARA EL CONTROL POTENCIA-FRECUENCIA EN TURBINAS HIDRAULICAS DE GENERACION ELECTRICICA

Inq RUBEN H. MILOCCO
LABORATORIO DE ELECTRONICA INDUSTRIAL CONTROL
E INSTRUMENTACION (LEICI).FAC. DE INGENIERIA
U.N.L.P. Calle 48 Y 116 1900 LA PLATA.

RESUMEN

En este trabajo se realiza el diseño de un compensador por adelanto para reducir las desviaciones de frecuencia eléctrica en un sistema interconectado de generación de energía eléctrica. El modelo utilizado está basado en el Sistema Interconectado Argentino (SIN). La acción de control es ejercida sobre la velocidad de turbinas hidráulicas. Como esta es una planta de no mínima fase, el diseño no es trivial. Se utiliza un algoritmo que permite obtener órdenes óptimos y reducidos del compensador minimizando la varianza pesada entre las desviaciones de frecuencia eléctrica y entrada de caudal de agua a la turbina. Se evalúan numéricamente los resultados.

INTRODUCCION

El control de potencia-frecuencia en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) es realizado por dos acciones, por un lado el control primario de frecuencia, ejercido automáticamente por todas las unidades del SIN, y por otro, el control secundario, ejercido manualmente por una sola estación de gran capacidad de generación. El control primario consiste en realimentar la frecuencia eléctrica a través de un regulador para actuar entonces sobre la válvula o compuerta de admisión de vapor (en turbinas térmicas) o de agua (en turbinas hidráulicas), de manera de que cada unidad aporte proporcionalmente a la desviación de la potencia-frecuencia al sistema. El control secundario tiene por misión absorber la componente media de la potencia demandada. De esta manera cada unidad del sistema permanece operando en un punto de despacho de conveniencia económica.

El alto porcentaje de turbinas hidráulicas en el SIN (60%) y la característica dinámica de estas: gran tiempo de respuesta, hacen que el control por realimentación sea insuficiente.

Colocar ajustes del regulador para mejorar el rechazo a las perturbaciones de potencia demandada, en forma aceptable, pone en compromiso la estabilidad del sistema. Estudios realizados previamente (1), (2) y (3) muestran que la utilización de compensadores por adelantación permiten mejorar el rechazo a las perturbaciones y al mismo tiempo aumentar la estabilidad del sistema lo que implica una mayor seguridad de servicio.

Dada la característica dinámica de la turbina hidráulica (sistema de no-mínima fase) el diseño de un compensador por adelantación no es trivial. En la referencia (1) se utilizó un método de cálculo para hallar el compensador óptimo. En este trabajo se analiza el diseño del compensador por otro método para ser aplicado a las turbinas de la central del Chocon y Planicie Banderitas. Ambos métodos coinciden cuando el orden del compensador es el óptimo.

En este trabajo se estudia:

-El diseño de un compensador que actúe por adelantado minimizando la varianza pesada entre la señal de frecuencia y el movimiento diferencial de la compuerta de ingreso de agua a la turbina.

-Análisis de robustez y elección del orden apropiado del compensador que mejor se ajuste a los cambios de parámetros del sistema (variación de las constantes de tiempo de la turbina hidráulica debido a cambios en el punto de operación). Para esto, el método utilizado en (1) no puede ser aplicado ya que resuelve únicamente un compensador de orden óptimo.

-Comparación de compensadores diseñados para perturbaciones aleatorias y tipo escalón, frecuentes en el sistema.

-Análisis del comportamiento de la regulación secundaria. Dado que la presencia del compensador por adelantación permite relajar los ajustes del regulador de realimentación (obteniéndose mayores márgenes de estabilidad), la respuesta transitoria a cambios de valor deseado se

ven retardadas. Esto desmejora en principio la regulación secundaria. Se analizan las acciones necesarias para corregir este efecto.
-Análisis y conclusiones sobre las mejoras obtenidas.

1. FORMULACION DEL PROBLEMA Y MODELADO

En el modelado se considera que el sistema interconectado esta constituido por un 60% de generacion hidraulica y un 40% de generacion térmica. El sistema se comporta como un area única. Esto significa que la frecuencia eléctrica es la misma en todo instante y en cualquier punto del sistema interconectado. Ambas componentes térmica e hidraulica se modelan como una máquina equivalente en por unidad (pu).

Modelo de la estación de potencia hidráulica

Como modelo de la componente hidráulica del sistema se considera una máquina equivalente de acuerdo a las unidades hidroelectricas existentes de mayor capacidad en el sistema. Con este criterio describiremos el modelo correspondiente a las unidades del Chocón.

Funcion de transferencia de la turbina:

$$\frac{\Delta P_w}{\Delta f} = \frac{1 - s \lambda T_w}{1 + s \lambda T_w/2} \quad (1)$$

donde: T_w =Constante de tiempo [4.12 seg.]
 λ =Punto de operacion [.9 a .5]
 P_w =Potencia generada por la turbina
 u =Caudal de agua de entrada a la turbina

(ver apendice A de la referencia (1))

Funcion de transferencia y diagrama en bloques del regulador:

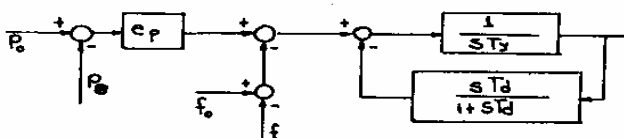


fig 1

donde T_y =Constante de tiempo del servo piloto [.02 seg.]
 T_d =Constante de tiempo [10 seg.]
 bt =ganancia [.6]
 ep =Estatismo [.05 pu f/puMw]

los valores corresponden al este "5" del regulador Chocon

$$\frac{\Delta u}{\Delta f} = \frac{1 + s T_d}{s [s T_y T_d + (T_y + bt T_d)] + 1} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta u}{\Delta P_e} = \frac{\Delta u}{\Delta f} \cdot ep \quad (3)$$

donde P_e =Potencia eléctrica demandada

Modelo del sistema :

$$P_w - P_e = T \frac{df}{dt} \quad (4)$$

donde T es la inercia del sistema [10. seq.]

Modelo de las estaciones térmicas

También la parte de generación térmica esta modelada segun una máquina equivalente ,esto es un sistema de primer orden pasa bajos de constante de tiempo de 0.5seg. (Byerly et al 1973). El regulador es considerado como una ganancia igual a la inversa del estatismo. Como muchas unidades térmicas no aportan a la regulacion de frecuencia , el estatismo equivalente adoptado es de 0.3 (30%).

Modelo de perturbación

El modelo de las perturbaciones aleatorias normales de potencia electrica fue tomado de trabajos anteriores(3). Este modelo es un sistema de primer orden pasa bajos de constante de tiempo de 1000 seg. o 20 min., excitado por un ruido blanco con desviacion estandar de .05 en por unidad, o sea 5% de plena carga.

Modelo del sistema interconectado

Ambas componentes equivalentes del sistema (hidráulica (60%) y térmica (40%)), están interconectadas en un area única a través de la inercia del sistema ec(4).

La dinámica de la turbina hidraulica ,tanto su constante de tiempo como la característica de respuesta inversa que produce aun un mayor atraso de fase o retardo ,exige ,a los fines de la estabilidad del lazo y consiguientemente del sistema, que los ajustes del regulador sean muy amortiguados. Esto combinado con el alto porcentaje de generación hidráulica, hacen que el rechazo a las perturbaciones normales de potencia eléctrica demandada sea insuficiente. Estudios anteriores realizados (1), (2) y (3) demuestran que el uso de compensadores

por adelanto mejoran la respuesta del control de frecuencia, permitiendo mayor margen de estabilidad al sistema a través de ajustes más relajados del regulador de realimentación.

Debe tenerse en cuenta también que el único lugar posible de adicionar una señal externa al lazo de realimentación de la regulación de frecuencia, en las centrales motivo de este estudio, es el sumador de entrada del regulador.

El modelo del sistema interconectado juntamente con la acción de compensación por adelanto que se propone están representadas en la figura 2.

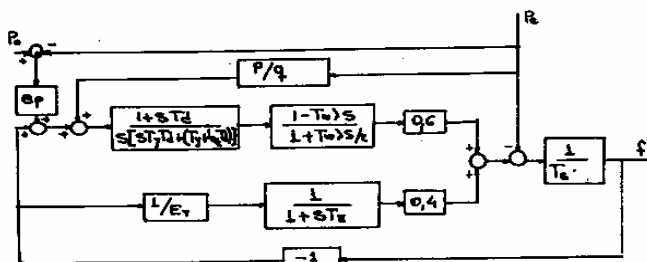


Fig 2

Agrupando en bloques y considerando despreciable la dinámica de la generación térmica, simplificamos la figura 2 en la figura 3:

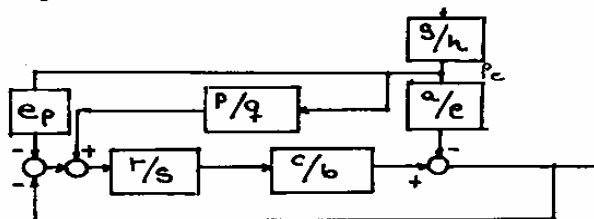


Fig 3

donde:

$$\frac{r}{s} = \frac{1 + 10s}{s^2 0.2 + 6.02s} \quad \frac{a}{e} = \frac{0.7519}{7.52s + 1}$$

$$\frac{g}{h} = \frac{1}{1000s + 1}$$

para $\lambda = 1$

$$\frac{c}{b} = \frac{-1.8947s + 0.4511}{15.78s^2 + 9.61s + 1}$$

para $\lambda = 0.5$

$$\frac{c}{b} = \frac{-0.9023s + 0.4511}{7.518s^2 + 8.51s + 1}$$

2.- DISEÑO DEL COMPENSADOR POR ADELANTO

El problema ahora es encontrar los valores de los coeficientes de los polinomios p y q que minimizan el error cuadrático pesado entre la salida "frecuencia" y la entrada diferencial: "ingreso de caudal de agua a la turbina", "f" y " Δu " respectivamente, con " $\Delta u = d\Delta u/dt$ ".

$$(6) \quad \min J = \min [E(f^2) + r_0 E(\Delta u^2)]$$

Dado que el polinomio "c" posee raíces en el semiplano derecho del plano "s", el diseño de un compensador estable p/q no es trivial. Para el caso de que el orden del mismo corresponda con el óptimo, la referencia (4) y (1) muestra un método válido y eficaz de diseño, sin embargo, deseamos saber algo más:

-Debido a que el compensador por adelantación actúa como compensación en paralelo, el mínimo de la ecuación (6) es muy sensible a la variación de los parámetros del modelo del sistema. Deseamos conocer si se gana o se pierde en robustez al reducir el orden del compensador frente a las variaciones normales de λ (entre 1 y 0.5).

-Dado que las perturbaciones tipo escalón son muy frecuentes en el SIN, deseamos saber si el compensador diseñado para ruido con el modelo g/h es igualmente óptimo para perturbaciones tipo escalón.

Para responder a estas preguntas, utilizaremos el procedimiento de diseño descrito en el apéndice A. Para ello armamos las ecuaciones de la siguiente manera:

$$Pe \left[\frac{-a s b - ep r c e}{e (r c + s b)} + \frac{P r c}{Q (s b + r c)} \right] = f \quad (7)$$

$$Pe \left[\frac{a r b - ep r b e}{e (r c + s b)} + \frac{P r b}{Q (s b + r c)} \right] = \Delta u$$

Para facilidad en los cálculos, el sistema es discretizado con periodo de muestreo de un segundo. Dada la constante de tiempo del filtro g/h, este periodo de muestreo cumple con la condición que la señal de perturbación Pe sea constante durante el periodo de muestreo. Las ecuaciones (7) pueden ser escritas con los valores correspondientes según los datos del problema:

$$Pe \frac{gcd}{gdd} Q + Pe \frac{gad}{gbd} P = f Q$$

(8)

(8)

$$\Delta Pe r_0 \frac{fcd}{gdd} q + \Delta Pe r_0 \frac{fad}{gbd} P = r_0 \Delta u q$$

con la función de costo a minimizar:

$$J = \sum f^2 + r_0 \sum \Delta u^2 \quad \text{con } \Delta = [1 - q^{-1}]$$

donde q^{-1} es un operador que significa un atraso de un periodo de muestreo. Los valores numéricos correspondientes se muestran en el apéndice B.

3.- RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISEÑO DEL COMPENSADOR POR ADELANTO

Vemos de las ecuaciones (8) y del apéndice A, que tanto podemos fijar un orden arbitrario para los polinomios p y q, como también seleccionar el tipo de señal de perturbación P_{et} para obtener los parámetros óptimos que minimizan a (9).

Notese que el orden óptimo de los polinomios p y q son según la referencia(1):

$$np = \max(nc, nb + \text{grado de } \Delta)$$

$$nq = \max(nx - 1, na + nb)$$

donde : nx (orden de la ecuación característica)=3
 $na = 1$; $nc = 1$; $nb = 2$

de donde $np = 3$ y $nq = 3$

A pesar que el orden del compensador óptimo es tres, deseamos conocer los compensadores de orden menor que minimizan la ecuación (9) y comparar la función de costo en cada caso cuando varía, el factor de peso r_0 .

También queremos comparar las variaciones de los parámetros cuando la señal de perturbación es ruido blanco y cuando es un escalón.

A los fines de analizar la robustez del diseño y realizar la elección final, deseamos calcular el óptimo de los parámetros cuando varía el punto de funcionamiento de la turbina (λ entre 1 y 0.5).

La figura 4 muestra un gráfico de desviación estandar normalizada de la frecuencia versus desviación estandar normalizada de la entrada diferencial para diferentes ordenes del compensador p/q y $\lambda = 0.9$.

La figura 5 muestra un gráfico similar en donde se obtuvieron los parámetros óptimos para $\lambda = 0.5$ y el comportamiento del compensador hallado para $\lambda = 0.9$.

La figura 6 muestra una comparación entre las desviaciones estandar normalizadas cuando la señal es ruido aleatorio y cuando es tipo escalón.

De estos gráficos sacamos las siguientes observaciones:

-No hay diferencia significativa de costo para los diferentes ordenes de los polinomios del compensador cuando $r_0 < 0.01$.

-El compensador de primer orden hallado para $\lambda = 0.9$ coincide con la curva parámetros optimizados para $\lambda = 0.5$. En cambio no ocurre lo mismo para el compensador de tercer orden.

-La figura 6 muestra que el comportamiento del compensador optimizado para ruido aleatorio, coincide con el óptimo hallado para perturbación tipo escalón.

De estas observaciones concluimos que:

-Con la compensación por adelanto se logra una mejora en el rechazo a perturbaciones.

-El compensador de primer orden es más robusto que el óptimo de tercer orden. Esto se deduce al observar que variando el punto de funcionamiento de la turbina y consecuentemente sus parámetros, el compensador de primer orden ofrece un mejor rechazo a las perturbaciones que el compensador de parámetros óptimos de tercer orden.

-Que un ajuste como el que corresponde para $r_0 = 0.2$, aumenta la variación incremental de la entrada al doble de lo que se tiene sin la acción del compensador, lograndose a cambio, una reducción del 40% en las desviaciones de la frecuencia. Las figuras 7, 8, 9 y 10 muestran las señales temporales de las desviaciones de la frecuencia eléctrica y de caudal de entrada a la turbina que resultarían de utilizar este ajuste para los parámetros del compensador y, para la comparación, las mismas respuestas sin uso de compensador por adelanto.

-El compensador es óptimo tanto para perturbaciones aleatorias como para señales tipo escalón. Las figuras (11) y (12) muestran la respuesta temporal de la frecuencia eléctrica y de la señal de entrada cuando se aplica un escalón de perturbación. Puede notarse la mejora obtenida con el uso del compensador.

Finalmente el apéndice B muestra las funciones de transferencia discreta y continua de los compensadores seleccionados.

4.- REGULACION SECUNDARIA

Debido a que es conveniente por razones económicas que cada unidad del sistema se mantenga regulando la frecuencia eléctrica alrededor de un punto de funcionamiento, es que se asigna a alguna unidad de gran generación la tarea de generar la componente media de la potencia eléctrica demandada o carga del sistema.

En el caso que estamos considerando (fig(2)), suponemos que esta tarea está asignada a una unidad a la cual le hemos incorporado un compensador por adelanto. La presencia del compensador permite colocar ajustes en el regulador por realimentación lo bastantes amortiguados como para asegurar gran margen de estabilidad en el lazo. La señal P_0 que ingresa al lazo cerrado como variación del valor deseado de frecuencia eléctrica, provoca una variación en la potencia mecánica entregada por la turbina. Las ecuaciones que se cumplen son:

$$(P_0 - P_e) \epsilon_p = f - f_0$$

$$\sum_{i=1}^N P_{mi} = P_e \quad P_{mi} = (f - f_0) K_i$$

donde: N es el número de unidades en el sistema
 P_{mi} es la potencia mecánica entregada por cada unidad i
 K_i es la inversa del estatismo asignada a la unidad i

Notemos que al variar P_0 , pueden corregirse desviaciones de frecuencia cambiando la potencia generada por algún grupo de gran capacidad que lleve la regulación secundaria, logrando que las demás unidades (en régimen estático) proporcionen una misma potencia todo el tiempo al sistema (esto significa igual punto de operación durante todo el tiempo).

Para esta unidad que puede lograr ajustes mas amortiguados del regulador de realimentación gracias a la presencia del compensador por adelanto, y que tambien debe llevar la regulación secundaria, se le presenta el problema de una respuesta retardada para cambios de valor deseado de frecuencia en comparación con ajustes del regulador menos amortiguados. Queremos analizar cualitativamente este efecto a través de simulación.

P_0 es una estación manual que genera una rampa de velocidad variable. Las figuras 13 y 14 muestran la respuesta obtenida para el caso de un ajuste 4, que es menos amortiguado que un ajuste 5. Puede verse el retardo en la respuesta de frecuencia eléctrica cuando se utiliza el ajuste 5 respecto del menos amortiguado ajuste 4. También puede verse como, aumentando la velocidad de la rampa cuando se utiliza el ajuste 5, puede lograrse una respuesta similar a la del ajuste 4, eliminando de esta forma el retardo adicional por usar un ajuste más amortiguado.

CONCLUSIONES

Se ha estudiado el diseño de un compensador por adelanto minimizando la sumatoria de los errores al cuadrado de las desviaciones de frecuencia eléctrica, pesada con los errores cuadráticos de las desviaciones incrementales de caudal de agua de ingreso a la turbina. Se comprobó

que un regulador de primer orden logra mejorar las desviaciones de frecuencia notablemente. También se comprobó que este mismo compensador es óptimo para perturbaciones tipo escalón, lograndose una importante mejora en la desviación transitoria respecto de no usar la compensación por adelanto. La presencia del compensador permite ajustes mas amortiguados del regulador por realimentación dando un mayor margen de seguridad al sistema. También se vió que este amortiguamiento adicional no perjudica la regulación secundaria.

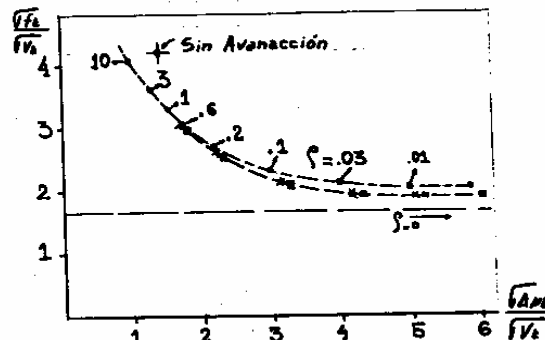


Figura 4: desviación estándar de la salida versus desv. estrd. de la entrada diferencial para $\lambda = 0.9$. o primer orden, ■ segundo orden, X tercer orden

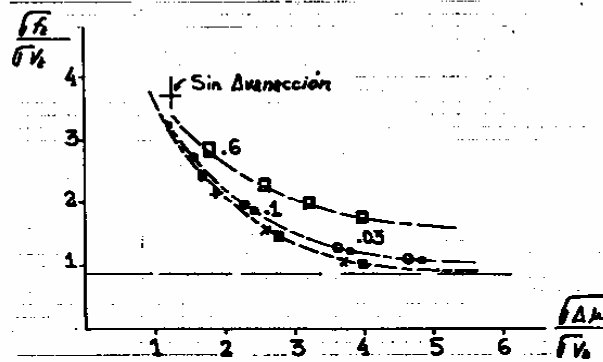


Figura 5: desviación estándar de la salida versus desv. estrd. de la entrada diferencial para $\lambda = 0.5$. o primer orden, ■ segundo orden, X tercer orden para compensador ajustado según $\lambda = 0.5$. O primer orden, □ segundo orden para compensador ajustado según $\lambda = 0.9$.

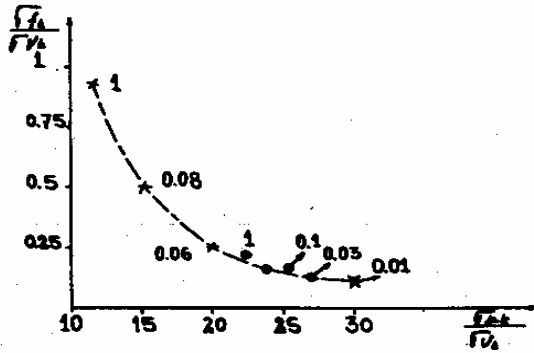


Figura 6: desviación estándar de la salida versus desv. estrd. de la entrada. X Optimo para perturbacion tipo escalon. ● Optimo para perturbacion ruido coloreado.

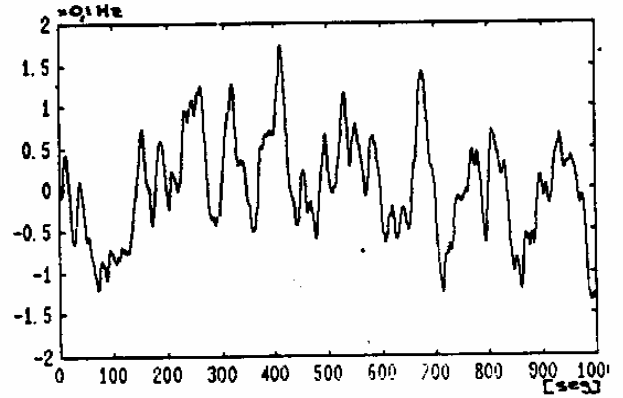


Figura 9: frecuencia eléctrica cuando no se utiliza avanzación

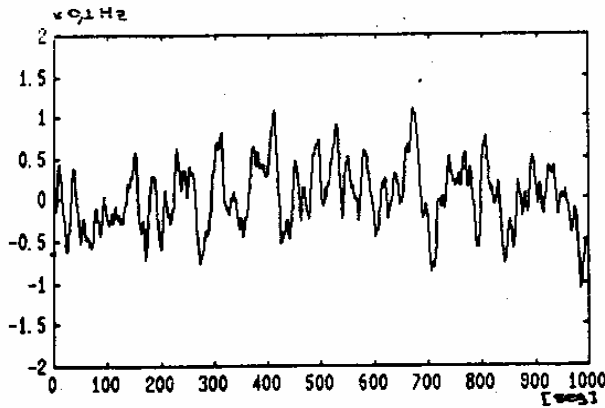


Figura 7: frecuencia eléctrica cuando se utiliza un compensador con $r_0=0.2$.

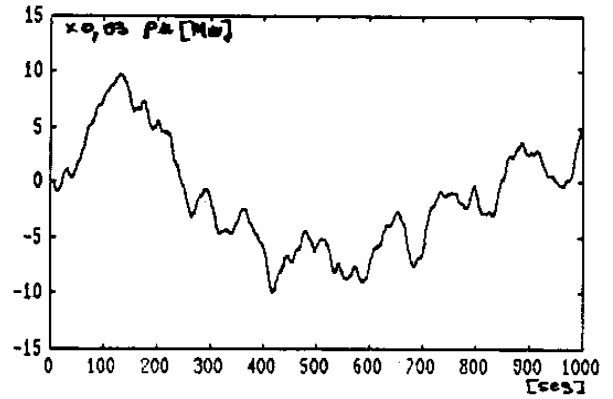


Figura 10: caudal de agua de entrada a la turbina cuando no se utiliza compensador de avanzación.

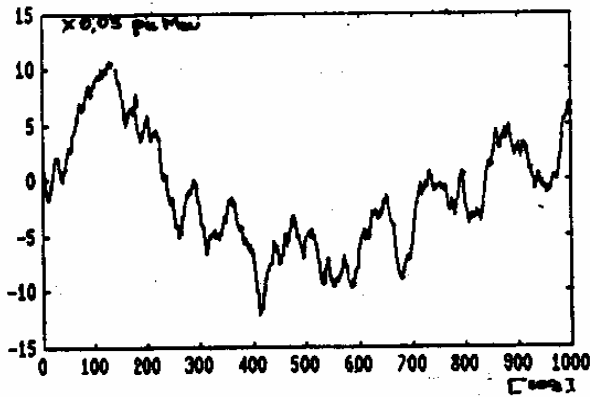


Figura 8: caudal de agua de ingreso a la turbina cuando se utiliza el compensador de $r_0=0.2$.

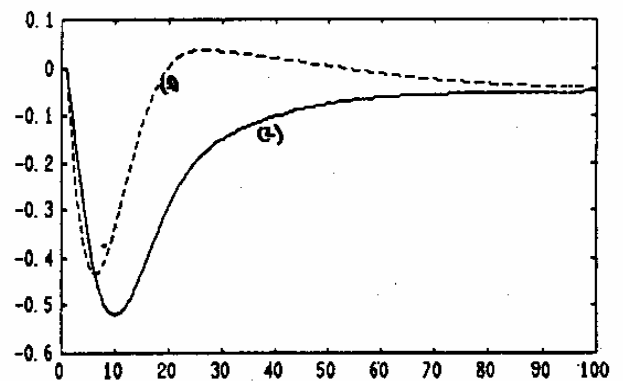


Figura 11: Respuesta de frecuencia eléctrica (1) con compensador. (2) sin compensador.

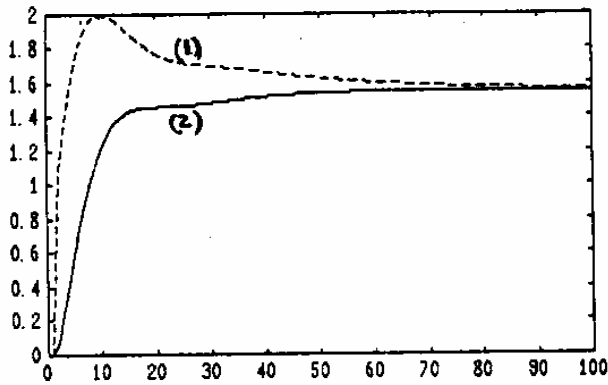


Figura 12: Respuesta de caudal de agua de ingreso a la turbina. (1) con comp. (2) sin comp.

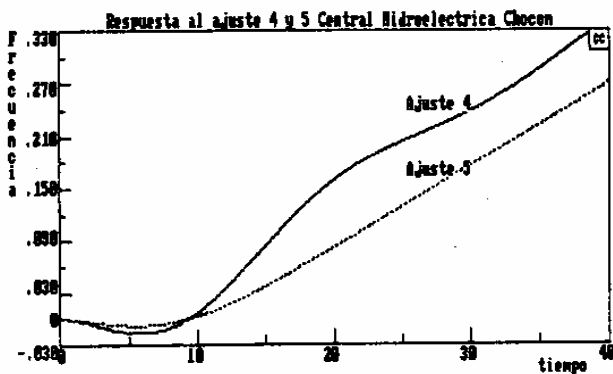


Figura 13:

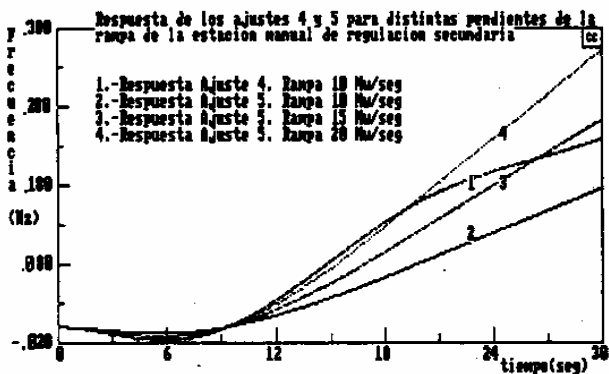


Figura 14:

APENDICE A

Dado un sistema en el que se cumple:

$$\begin{cases} ut \left(\frac{A}{B} + \frac{PC}{QD} \right) = h1t \\ ut \left(\frac{E}{F} + \frac{PG}{QH} \right) = h2t \end{cases}$$

donde ut y ht son señales temporales, $A, B, C, D, E, F, G, H, P$ y Q son polinomios en q^{-1} con q^{-1} operador que representa un atraso de un periodo de muestreo.

Desearnos obtener los coeficientes de los polinomios P y Q que minimizen a la siguiente ecuación:

$$J = \sum h1^2 t + r0 \sum h2^2 t$$

Conocemos los parámetros de todos los otros polinomios y la señal ut .

Resolveremos el problema por un algoritmo de mínimos cuadrados, para ello colocamos en forma conveniente a las ecuaciones (1).

$$\begin{cases} ut^T Q + ut^T P = h1t^T \\ G_1 ut^T Q + G_2 ut^T P = h2t^T \end{cases}$$

como

$$\begin{aligned} P &= p_0 + p_1 q^{-1} + \dots + p_n q^{-n} \\ Q &= q_0 + q_1 q^{-1} + \dots + q_n q^{-n} \end{aligned}$$

las ecuaciones (3) pueden arreglarse en forma matricial:

$$\begin{cases} Y1 = K1 I + h1 \\ Y2 = K2 I + h2 \end{cases}$$

donde:

$$K1 = \begin{bmatrix} k10 \\ k11 \\ \vdots \\ k1N \end{bmatrix}; K2 = \begin{bmatrix} k20 \\ k21 \\ \vdots \\ k2N \end{bmatrix}; Y1 = \begin{bmatrix} F_1 \\ U_1 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix}; Y2 = \begin{bmatrix} G_1 \\ U_1 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix}$$

$$I = \begin{bmatrix} q1 \\ q2 \\ \vdots \\ qnq \\ p0 \\ p1 \\ \vdots \\ pnp \end{bmatrix}; h1 = \begin{bmatrix} h10 \\ h11 \\ \vdots \\ h1N \end{bmatrix}; h2 = \begin{bmatrix} h20 \\ h21 \\ \vdots \\ h2N \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} k1t &= [-u(t-1)+h1(t-1); \dots; -u(t-nq)+h1(t-nq) \\ &\quad ; -ut; \dots; -u(t-np)] \\ k2t &= [-u(t-1)+h2(t-1); \dots; -u(t-nq)+h2(t-nq) \\ &\quad ; -ut; \dots; -u(t-np)] \end{aligned}$$

para minimizar a (2) utilizamos la solución de mínimos cuadrados:

$$\begin{matrix} k1^i & \text{utiliza} & h1^{i-1} & = & Y1 & - & K1^{i-1} & 1^{i-1} \\ k2^i & \text{utiliza} & h2^{i-1} & = & Y2 & - & K2^{i-1} & 1^{i-1} \end{matrix}$$

$$\hat{1} = (K1^T K1 + r0 K2^T K2) (K1^T Y1 + r0 K2^T Y2)$$

como los valores de la señal h no son conocidos a priori, realizamos un algoritmo iterativo, en donde en cada paso utilizamos valores estimados en el anterior:

APENDICE B

ro	λ	$\frac{f}{v}$	$\frac{u}{v}$	$\frac{P(q^{-1})}{Q(q^{-1})}$	$\frac{P(s)}{Q(s)}$
0	0.9	2.19	32	$\frac{2.424 - 2.404q^{-1}}{1 - 0.5419q^{-1}}$	$\frac{2.42 s}{s + 0.6127}$
0.02	0.9	2.03	5.06	$\frac{1.224 - 1.2167q^{-1}}{1 - 0.8135q^{-1}}$	$\frac{1.22 s}{s + 0.2064}$
0.04	0.9	2.05	4.05	$\frac{0.968 - 0.963q^{-1}}{1 - 0.866q^{-1}}$	$\frac{0.96 s}{s + 0.1439}$
0.1	0.9	2.26	2.94	$\frac{0.6704 - 0.6683q^{-1}}{1 - 0.9203q^{-1}}$	$\frac{0.67 s}{s + 0.0814}$
0.2	0.9	2.55	2.25	$\frac{0.4779 - 0.4768q^{-1}}{1 - 0.9503q^{-1}}$	$\frac{0.47 s}{s + 0.0274}$
0.6	0.9	3.07	1.56	$\frac{0.2566 - 0.2561q^{-1}}{1 - 0.9730q^{-1}}$	$\frac{0.25 s}{s + 0.0274}$
1	0.9	3.3	1.33	$\frac{0.1902 - 0.1898q^{-1}}{1 - 0.9788q^{-1}}$	$\frac{0.19 s}{s + 0.022}$

APENDICE C

	q^0	q^{-1}	q^{-2}	q^{-3}	q^{-4}	q^{-5}
para $\lambda=1$						
gcd	0	-0.0938	0.2301	-0.1842	0.0482	-0.0002
gdd	1	-3.4661	4.5286	-2.6453	0.5832	-
gad	0	-0.1442	0.3102	-0.1577	-0.0044	-
gbd	1	-2.5906	2.2606	-0.6662	-	-
fad	0	0.0667	-0.0584	-0.1186	0.1619	-0.0508
fad	0	2.0675	-5.0503	4.0795	-1.0881	-

para $\lambda = 0.5$

gcd	0	-0.0946	0.2057	-0.1363	0.025	-0.0001
gdd	1	-2.1332	3.6373	-1.8306	0.3473	-
gad	0	-0.0935	0.2818	-0.1392	-0.0027	-
gbd	1	-2.2577	1.6607	-0.3967	-	-
fgd	0	0.0681	-0.0475	-0.1155	0.1264	-0.0302
fgd	0	1.9852	-4.3478	3.0242	-0.6475	-

REFERENCIAS

- (1).-Ruben H. Milocco - Mikael Sternad "Optimal Feedforward Power-Frequency Control For Hydropower Stations in Interconnected Systems" UPTEC 8725 R Feb. 1987 UPPBALA UNIVERSITY.
- (2).-Ruben H. Milocco "Feedforward and Feedback Optimization In Hydrogovernor Turbine System" Proc. 2nd. International Conference on Telecommunication And Control-TELECOM-85".
- (3).-Ruben H. Milocco-Edgar Willis "Optimizacion Parametrica de Reguladores de velocidad en Turbinas Hydraulicas" Anais do VIII Congresso de Engenharia Mecanica. S Jose dos Campos pp 697-700. (1980).
- (4).-Mikael Sternad "Feedforward control of Nonminiaun Phase Systems"UPTEC 85104 R Oct 1985. UPPBALA UNIVERSITY.