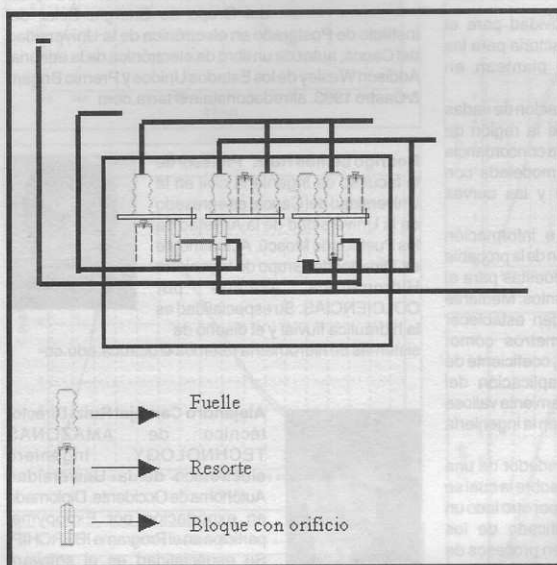


Modelamiento del modulador hidráulico de flujo de vapor para un turbogenerador



RESUMEN

Este trabajo busca modelar y simular el modulador de aceite para mando de válvulas, el cual se encarga principalmente de controlar el flujo de vapor de baja y media presión que va hacia la turbina de un proceso de cogeneración por medio de un turbogenerador; el proceso consiste en la producción de energía térmica, mecánica y eléctrica a partir de varias fuentes de combustible.

Sobre la base del modelamiento y la simulación del proceso se dan especificaciones para el reemplazo de este modulador utilizando el software de FOXBORO.

PALABRAS CLAVES

Cogeneración, Identificación de Sistemas, Turbina, Gobernador, Modulador Hidráulico.

ABSTRACT

A cogeneration process is achieved through a steam turbine. This process consists of thermal, mechanical and electrical energy production from several fuel sources. The general goal of this work had been to model and simulate the hydraulic modulator for control valves whose main function is oriented to control the steam flow of medium and low pressure that goes towards the turbine.

Based upon these modeling and simulation, several specifications are

□ Jairo Panneso Tascón, M.Sc.

Profesor Titular Jubilado,
Universidad del Valle
Profesor Pontificia Universidad
Javeriana, Cali-Colombia.

□ Hernán Darío Benítez R. Ing.

Pontificia Universidad Javeriana,
Cali-Colombia.

Grupo de Automática y Robótica
Pontificia Universidad Javeriana, Cali.
http://ingenieria.puj.edu.co/centros/cap/grupos/automatica/index_himl#

Miembros:

Propal S.A. Caloto-Cauca

□ Martha Liliana Delgado Mora, Ing.

Pontificia Universidad Javeriana,
Cali-Colombia.

30

* Recibido : Mayo 2002
* Aceptado: Junio 2.002

given to replace the modulator using an existing FOXBORO software.

KEY WORDS

Cogeneration, Systems Identification, Steam Turbine, Hydraulic Modulator, Governor.

1. INTRODUCCIÓN

Una planta productora de papel opera un turbogenerador controlado por un conjunto gobernador-modulador hidráulico que tiene aproximadamente veinte años de funcionamiento.

El modulador existente presenta problemas para mantenimiento, reparación y manejo. Lo anterior crea la necesidad de implementar un sistema que solucione estas falencias y otorgue beneficios a la economía y seguridad de la empresa.

En este artículo se describe el modelamiento de este dispositivo mediante la identificación de sistemas con algoritmos paramétricos y la validación del modelo obtenido mediante la excitación con un conjunto de datos de entrada reales y la comparación de sus salidas con las del sistema real en funcionamiento.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODULADOR HIDRÁULICO

El modulador es un sistema MIMO (Multiple Input Multiple Output) que consta de tres palancas con fuelles y resortes para posicionamiento y bloques con orificios para el control de la presión de aceite. Los fuelles son cinco, de los cuales tres son para el control de velocidad y están ubicados uno en cada palanca; los otros dos son para control de presión y están ubicados en las palancas B y C. [5] (ver Figura 1).

El modulador es el encargado de controlar la apertura y cierre de las válvulas de admisión y extracción. Además, mantiene los valores de media y baja presión de acuerdo

con las señales emitidas por los reguladores de media (PIC917) y baja presión (PIC301) respectivamente.

Adicionalmente, el modulador posiciona las válvulas de admisión y extracción de vapor en direcciones opuestas de manera que un cambio en el consumo del vapor de media presión no produce una variación significativa en la energía eléctrica generada. Si la demanda de vapor de media presión aumenta se abren las válvulas de admisión de vapor y se cierran las de control de extracción de vapor.

Por otro lado, el regulador electrónico PIC917 recibe una señal del transmisor que proviene del cabezal de media presión; ésta es comparada con la señal proveniente del tablero de control (la cual se fija de forma manual), produciendo como salida una señal neumática con rango de 0.2 a 0.8 bares la cual se aplica a los fuelles de control de presión media del modulador ubicados en las palancas B y C.

De igual manera, el regulador electrónico PIC301 recibe una señal del transmisor proveniente del cabezal de baja presión ésta se compara con la señal proveniente del tablero de control (la cual se fija de forma manual), produciendo como salida una señal hidráulica de 0.2 a 1 bares que se aplica como punto de referencia al gobernador de velocidad el cual varía la presión de aceite de control de velocidad que actúa sobre el modulador con un rango de 1 a 3.8 bares.

3. MODELAMIENTO MEDIANTE IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS CON ALGORITMOS PARAMÉTRICOS

Para la elaboración de este modelo se utiliza la representación del sistema como caja negra. Es decir, la representación que se obtiene procesando las salidas de un sistema al aplicarle unas entradas específicas se deduce del comportamiento del sistema mediante pruebas experimentales aplicadas al mismo [1]. La denominación caja negra se refiere a que para el proceso de modelamiento no se usa información a priori acerca del sistema.

Para este caso, los datos utilizados son los tomados durante distintas etapas de operación del sistema las cuales fueron: arranque, parada y modo normal de operación. El tiempo de muestreo fue de 30 s.

Utilizando la herramienta para identificación de sistemas de Matlab [7] se realizaron cuatro modelos ARX (Auto Regresivo con entrada Exógena) del sistema, donde el primer modelo se elaboró con datos tomados en la región de operación normal del turbogenerador, el segundo durante una parada, el tercero en arranque y el cuarto, en el que se combinaron estos tres modos de operación.

Se realizó la selección del mejor modelo con base en el error cuadrático medio y el modelo seleccionado fue el correspondiente a la unificación de los datos.

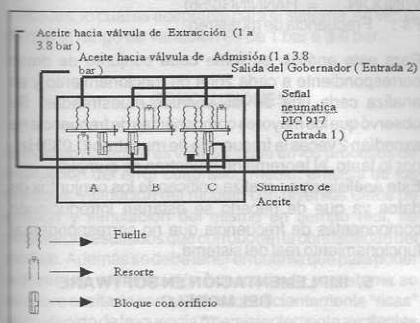


Figura 1. Modulador hidráulico de control de válvulas.

El modelo dado por la identificación de sistemas con la unificación de los datos está representado por las funciones de transferencia dadas en la tabla 1.

Tabla 1. Funciones de transferencia modelo unificado

Salidas	Presión de Control de Admisión PI305	Presión de Control de Extracción PI309
Entradas		
Salida Gobernador de Velocidad PI311	$\frac{-0.8575s + 0.05716}{s + 0.06667}$	$\frac{-1.376s + 0.09172}{s + 0.06667}$
Salida Regulador de Media Presión PIC917	$\frac{-0.6104s + 0.0407}{s + 0.06667}$	$\frac{1.402s - 0.09346}{s + 0.06667}$

A continuación se presenta cada una de las salidas obtenidas con el modelo estimado y validado con los mismos datos utilizados para el modelamiento (Figura 2).

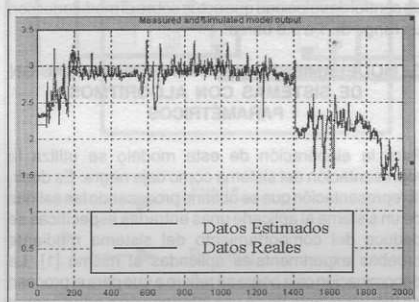


Figura 2. Salida Presión de Admisión Modelo ARX Orden 1 Datos Unificados

Este modelo fue validado mediante dos pruebas que fueron:

- Correlación Entradas y Residuos ARX del Sistema
- Validación del modelo con un conjunto de datos adicional.

El modelo estimado superó las pruebas realizadas satisfactoriamente y por lo tanto se procedió a la implementación en software del modelo [2].

La prueba de correlación para los residuos indica que los residuos son independientes; es decir, son una secuencia de ruido blanco lo cual se espera de un modelo ARX y de todos los modelos que tengan en cuenta el modelo del ruido (Figura 3).

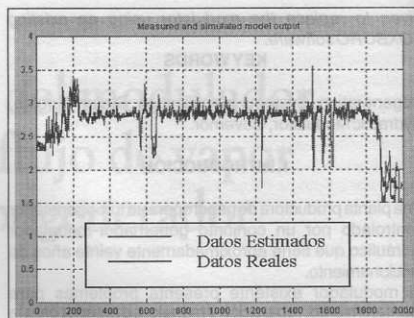


Figura 3. Salida Presión de Extracción Modelo ARX Orden 1 Datos Unificados

4. ANÁLISIS EN FRECUENCIA DE LAS SEÑALES MUESTREADAS

Para la toma de datos se determinó un tiempo de muestreo de 30 s, el cual se justifica realizando un análisis en frecuencia de cada una de las señales muestreadas para verificar el cumplimiento del teorema del muestreo.

El análisis en frecuencia se realiza utilizando la función SPECTRUM () de MATLAB; esta función requiere los siguientes parámetros:

[P,F] = SPECTRUM(X,NFFT,NOVERLAP,Window,Fs)
donde:

P : Densidad espectral de potencia

F : Frecuencia

X : Señal a analizar

NFFT = 256

NOVERLAP = 0

WINDOW = HANNING(256)

Fs : Frecuencia de muestreo

Para este análisis se toma cada conjunto de datos correspondiente a cada zona de funcionamiento y se analiza cada una de las señales muestreadas. Se observó que los mayores componentes de frecuencia no excedían 2 veces la frecuencia de muestreo (0.033 Hz), por lo tanto, el teorema de muestreo se cumplió.

Este análisis no se realiza unificando los conjuntos de datos ya que de hacerlo se estarían introduciendo componentes de frecuencia que no corresponden al funcionamiento real del sistema.

5. IMPLEMENTACIÓN EN SOFTWARE DEL MODELO

Para la implementación del modelo se obtienen las siguientes ecuaciones en diferencias:

$$0.8578u_1(k-1) + 0.6104u_2(k-1) = y_1(k) \quad (1)$$

$$1.376u_1(k-1) - 1.402u_2(k-1) = y_2(k) \quad (2)$$

Donde:

- U1: Salida del gobernador de velocidad
- U2: Salida regulador de media presión PIC917
- Y1: Presión de control de admisión PI305
- Y2: Presión de control de extracción PI309

El propósito de la elaboración de este programa ha sido verificar en tiempo real el funcionamiento de la implementación del modelo obtenido mediante la instalación de éste en una estación I/A de FOXBORO. Una vez implementado el programa, éste fue ejecutado y se realizó una toma de datos durante 30 minutos con una frecuencia de 30 segundos. En total se tomaron 61 datos para cada salida. Con los datos registrados se comparó el comportamiento de las salidas del sistema hidráulico con las salidas arrojadas por la implementación del modelo en software y los resultados obtenidos fueron los que se muestran en las Figuras 4 y 5.

Analizando estos resultados se cuantifica un error cuadrático medio de 0.075 bar para la salida de presión hacia la válvula de extracción y de 0.1214 bar para la salida de presión hacia la válvula de admisión. Con base en el análisis de los datos [2] se deduce que la salida de presión hacia la válvula de admisión presenta un exceso en los datos de 0.1 bar; por lo tanto, para compensar esta diferencia, se realiza una corrección a la ecuación en diferencia que representa esta salida y se resta una constante de 0.1 bar. Con esta corrección el error cuadrático medio para esta salida se reduce a 0.05829 bar.

En conclusión, el modelo obtenido es apropiado pues el error obtenido al realizar la prueba es del orden de milibares, lo cual es aceptable para el sistema, en virtud de que el rango de variación es de 1 bar a 3.8 bar.

6. CONCLUSIONES

El modelo obtenido es válido ya que en los procesos de evaluación del error cuadrático medio, análisis de los residuos, validación del modelo con diversos datos de entrada y simulación del mismo en tiempo real, se obtuvieron resultados que corroboran la confiabilidad del modelo. Además se debe tener en cuenta que para poder realizar una identificación adecuada de un sistema se requiere excitarlo con señales lo suficientemente "ricas" en contenido de frecuencia ó persistentemente excitantes de tal manera que se pueda excitar a lo largo de todo el

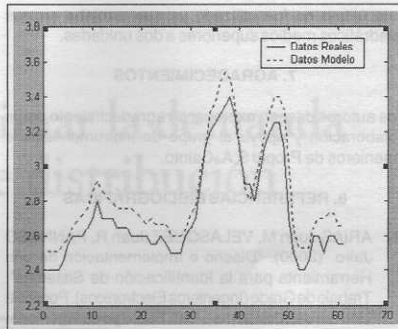


Figura 4. Comparación salida real y salida del programa para la válvula de admisión.

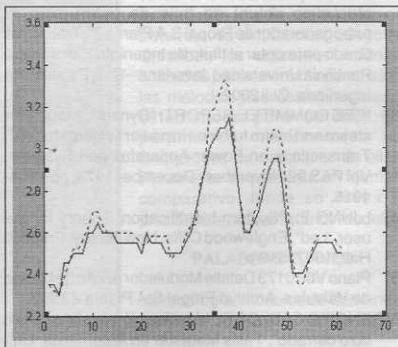


Figura 5. Comparación salida real y salida del programa para la válvula de extracción.

espectro de frecuencia del modelo y así garantizar su confiabilidad. En este caso, las señales del modulador hidráulico fueron persistentemente excitantes ya que las entradas con diverso contenido de frecuencia y magnitud fueron proporcionadas en los momentos de arranque, parada y funcionamiento normal de la turbina de vapor; por esto no se requirió del diseño de una prueba específica. El modelamiento del modulador hidráulico no sólo incluye una dinámica asociada a éste sino también una dinámica asociada al comportamiento de la turbina ya que el sistema modelado estaba en lazo cerrado y no existía la posibilidad de abrir el lazo para hacer un modelamiento en lazo abierto.

Por otro lado, en vista de que el sistema modelado es un sistema multivariable se pudieron utilizar los algoritmos ARX y de espacio de estados. El modelo arrojado por

este último no fue utilizado ya que arrojaba errores cuadráticos medios superiores a dos unidades.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento por la colaboración y apoyo al grupo de instrumentistas e ingenieros de Propal S.A. Caloto.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARIAS Juan M, VELASQUEZ Juan R, PANNESO Jairo (2000). "Diseño e Implementación de una Herramienta para la Identificación de Sistemas". Trabajo de Grado (Ingenieros Electrónicos). Pontificia Universidad Javeriana—Cali. Facultad de Ingeniería. Cali, 2000.
- [2] DELGADO Martha L, BENITEZ Hernán D, PANNESO Jairo, "Modelamiento del modulador hidráulico actual de flujo de vapor para el turbogenerador de Propal S.A. Planta 2". Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Javeriana—Cali. Facultad de Ingeniería. Cali 2002.
- [3] IEEE COMMITTEE REPORT. "Dynamic Models for steam and hydro turbines in power system studies". Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol PAS 92 November / December 1973, pp 1904-1915.
- [4] LJUNG L., "System Identification: Theory for the user, 1 ed", Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1987. 519 p
- [5] Plano V600173 Detalle Modulador Aceite de Mando de Válvulas. Archivo Propal S.A. Planta 2 1982.
- [6] RENGIFO CARLOS F. "Identificación de sistemas en lazo cerrado". Tesis Magíster en Automática. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali 2000.
- [7] System Identification toolbox: for use with MATLAB. The Math Works Inc, 1997. 274p. ■

AUTORES



Jairo Panesso Tascon. Ingeniero Electricista, Universidad del Valle, 1970. Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad del Valle, 1974 Master of Science en Ingeniería Eléctrica de la University of Wisconsin en USA En el área de Control Automático, 1978.

Especialista en Sistemas de la Universidad del Valle, 1992 Magíster en Dirección Universitaria de la Universidad de los Andes, 1994. jpanesso@puj.edu.co

Martha Liliana Delgado Mora.

Ingeniero Electrónico Pontificia Universidad Javeriana, 2002 Actualmente se encuentra trabajando en TELDOR Wires&Cables Ltda. y cursando el diplomado Administración y Diseño de Redes en la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

marthal@telesat.com.co



Hernán Darío Benítez Restrepo

Ingeniero Electrónico Pontificia Universidad Javeriana, 2002 Áreas de interés : Procesamiento Digital de Señales y Sistemas de Control.

hbenitez@puj.edu.co

«Estudia el pasado si quieres pronosticar el futuro»

Confucio.