

RESUMEN

Este trabajo trata sobre la obtención de modelos matemáticos fundamentales del sistema de regulación o gobernanación de velocidad (S.G.V.) de las turbinas de generación tradicionales (hidráulicas-térmicas).

Se presentará los resultados de la simulación digital de un modelo con el fin de exponer un ejemplo de análisis de la sensibilidad a variaciones de los valores nominales de alguno de los elementos críticos del S.G.V. respecto de la estabilidad en el dominio de la frecuencia, observando también las señales de respuesta a variaciones de carga, en el dominio del tiempo.

Permitirá pues, apreciar nuevas herramientas para una comprensión más amplia del comportamiento de este sistema de control dentro del campo de generación en el Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P.).

INTRODUCCION

Dentro de los varios aspectos que se pudiesen examinar de las partes que componen un Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P.), se va a circunscribir en este trabajo a uno de los sistemas de control involucrados en la generación, como es el sistema que controla la velocidad de giro de la respectiva turbina.

Esta forma de control de la velocidad de giro de salida de la turbina, asegura que frente a cambios de la demanda de potencia, se tenga una respuesta continua del generador, sin grandes desviaciones de la frecuencia nominal; esta función de control se la conoce como "Sistemas de regulación o gobernanación de la velocidad de turbinas" (S.G.V.).

1. MODELOS MATEMATICOS DE LOS SISTEMAS

1.1. IDENTIFICACION DE PARAMETROS ENTRADA - SALIDA EN EL GENERADOR

Desde el punto de vista de control, se puede representar un generador como un bloque, que tiene como señales actuantes a la Corriente de Campo y torque Mecánico y sus resultantes o señales de salida Potencia Activa, Potencia Reactiva, Voltaje Terminal y Frecuencia, existiendo una interrelación entre las magnitudes actuantes y de salida en grados de relación, dependiendo de la estructura del sistema.

En los sistemas de generación para grandes demandas, frente a variaciones de velocidad de la turbina que inciden en su torque mecánico, sale afectada principalmente la salida de la Potencia Activa y la Frecuencia, siendo débil la relación con la Potencia Reactiva y con el Voltaje Terminal.

Por lo tanto se puede resaltar que el S.G.V.

de la turbina frente al S.E.P. trata de mantener constante la frecuencia de salida ante cambios de carga.

1.2. LOCALIZACION DEL SISTEMA DE GOBERNACION DE VELOCIDAD (S.G.V.)

Se podría definir al S.G.V. como un sistema de control conformado físicamente por la combinación de equipos y mecanismos que detectan fundamentalmente la variación de velocidad y la convierten en un cambio de la posición del servo-motor, u organo de distribución de la máquina motriz, objeto de la regulación.

La ubicación general en bloques del S.G.V. dentro S.E.P. es como se muestra en la Fig. 1.

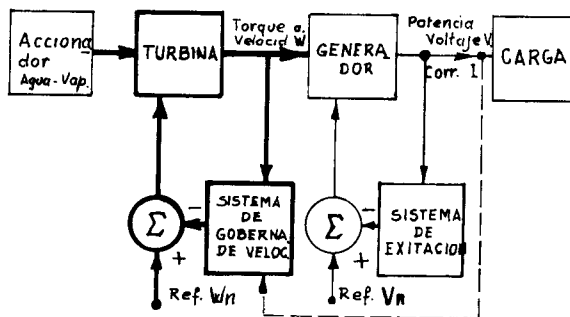


FIG. 1. Sistema de Gobernación de velocidad en el S.E.P.

1.3. PARTES CONSTITUTIVAS DEL SISTEMA DE GOBERNACION

El diagrama de bloques funcional de la figura 2, señala las partes constitutivas del S.G.V., definiéndolas:

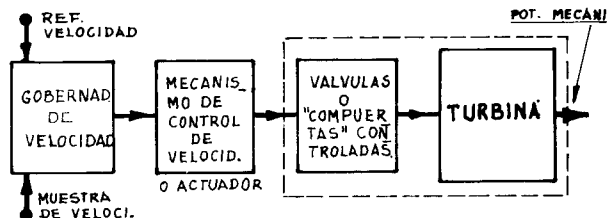


FIG. 2. Diagrama de bloques funcional del S.G.V.

1. GOBERNADOR O REGULADOR DE VELOCIDAD (SPEED GOVERNOR)

Aquellos elementos que respondiendo directamente a la velocidad comparándola con una referencia, posicionan o influncian la acción de otros elementos.

2. MECANISMO DE CONTROL DE VELOCIDAD
(SPEED-CONTROL MECHANISM)

Todos los equipamientos tales como relés, servomotores, aparatos de presión o ampli-ficación de potencia mecánica, palancas y uniones entre el gobernador y los elemen-tos controlados.

Para las turbinas hidráulicas se le conoce también como control actuador (Control-Ac-tuator).

3. ELEMENTOS DE DISTRIBUCION DE LA MAQUI
NA MOTRIZ

Objeto de la regulación, constituye el ele-mento final que controla la potencia de sa-lida de la turbina y que son normalmente a-fectados por el gobernador de velocidad di-rectamente, o por medio del mecanismo de control de velocidad.

Para las turbinas hidráulicas se tiene los servomotores de control de la turbina (Tur-bine-Control Servomotor); para las de va-por se tiene las válvulas controladas por el gobernador (Gobernador-Controlled valves).

1.4. MODELOS MATEMATICOS SIMPLIFICADOS DEL
S.G.V. CON REALIMENTACION

Se han tomado en cuenta los elementos más importantes en las representaciones consi-derando que, para los fines que se preten-de, es suficiente la aproximación lineal de los comportamientos de los elementos.

En los modelos del S.G.V. se añaden los e-lementos necesarios para la retroalimenta-ción, es decir los bloques que representan el comportamiento de las turbinas y de la inercia del eje turbina-generador, del cual va a partir la señal de error de velocidad completando dicha retroalimentación.

1.4.1 S.G.V. MECANICO-HIDRAULICO Y TURBINA
DE VAPOR

Para la representación de la turbina (a un eje) se va a escoger una configuración que incluya las partes más representativas, es decir tenga a continuación del paso de "va-por de caldera", una etapa de alta presión donde se desarrolla una fracción de la po-tencia (o torque mecánico), viniendo luego las etapas media y baja, intercalándose las acciones del recalentador y del ciclo de realimentación de vapor. Tal requeri-miento cumple la "Tandem-Compound Single Reheat".

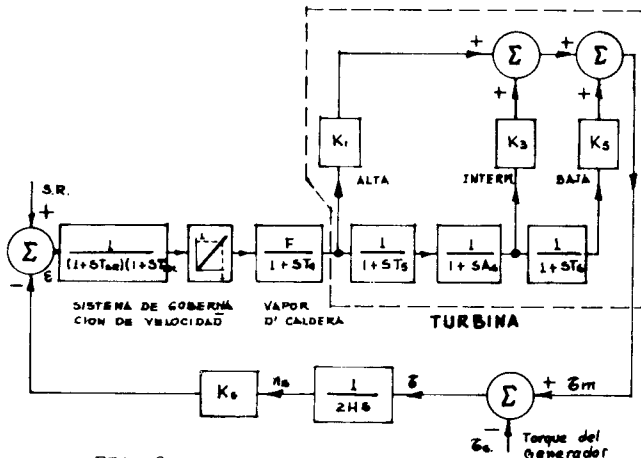
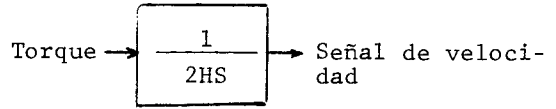


FIG. 3

Analizando el S.G.V. Mecánico-hidráulico, se observa que el gobernador produce un cambio de posición, siendo representado por una ga-nancia K_G (recíproca de la caída de veloci-dad). La señal SR obtenida del posiciona-dor (o cambiador de referencia) representa una referencia de carga y velocidad que se asume constantemente para estudios de esta-bilidad.

Un cambio en el torque neto acelera el eje en una relación dada por la inercia del ro-tor, dando como salida una señal de veloci-dad a ser aplicada al gobernador, completando así la retroalimentación.



donde: H = Constante de Inercia del eje

Dentro del mecanismo de control se tiene los siguientes elementos:

- Relé de velocidad, representado como un integrador con la constante de tiempo T_{SR} y retroalimentación directa:

$$\frac{1}{1 + ST_{SR}}$$

- Servomotor, representado en forma simi-lar por un integrador con la constante de tiempo T_{SM} y retroalimentación direc-ta:

$$\frac{1}{1 + ST_{SM}}$$

Dicho servomotor es el que actúa para accionar las válvulas de control de va-por, con sus posiciones límites.

Se presenta también la acción linealiza-dora de levas que compensan la acción no li-neal de las válvulas.

1.4.2 S.G.V. MECANICO-HIDRAULICO Y TURBI
NA HIDRAULICA

Las características transientes de una hi-droturbina vienen determinadas por la diná-mica del flujo de agua en el tubo de pre-sión. La conversión de caudal y altura a potencia por la turbina involucra relacio-nes estacionarias, de las que se puede de-finir un modelo matemático detallado. Sin embargo, no es usual usar dicho modelo pa-ra estudios de estabilidad, sino el modelo simplificado:

$$\frac{1 - STW}{1 + \frac{TW}{2} S}$$

Siendo $TW =$ Constante del tiempo de arranque del líquido.

La función de transferencia del S.G.V. proviene del siguiente diagrama de bloques:

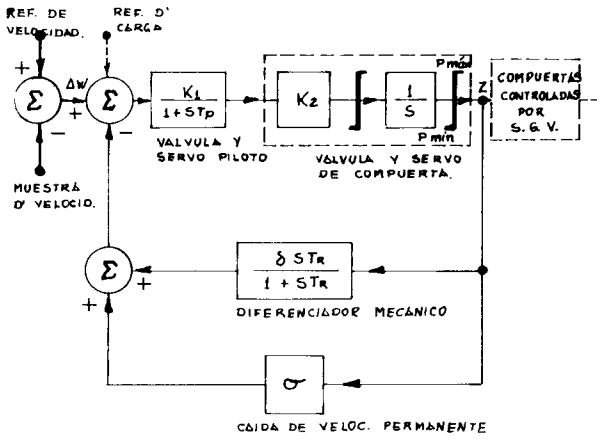


FIG. 4. S.G.V. mecánico-hidráulico

Considerando a la constante de Tp despreciable por su valor pequeño y designando

$$K_1 K_2 = \frac{1}{T_G}$$

La función de transferencia se reduce al siguientes esquema:

$$\frac{K(1+STR)}{T_A S^2 + T_B S + 1}$$

Donde:

$$T_A = \frac{TGTR}{\omega}$$

$$T_B = \frac{TG + TR(\omega + \delta)}{\omega}$$

$$K = \frac{1}{\omega}$$

que operando se llega a la forma general en bloques:

$$\frac{K(1+ST_2)}{(1+T_1S)(1+T_3S)}$$

Quedando S.G.V. y Turbina, en la forma:

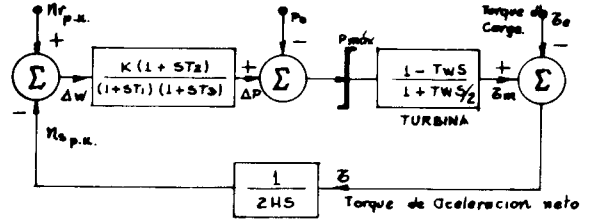


FIG. 5. Modelo simplificado de S.G.V. mecánico-hidráulico y T. hidráulica.

$$\text{Siendo } T_{1,3} = \frac{TB}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{TB}{2}\right)^2 - TA}$$

$$T_2 = TR$$

Dicho modelo simplificado como se observa, se deriva del modelo general despreciando la constante Tp y los límites del servo de compuerta, añadiéndose la suposición de que la posición del servomotor de compuertas y la posición efectiva de las compuertas son iguales, imponiéndose los límites de posición fuera del lazo de retroalimentación.

1.4.3. S.G.V. ELECTRO-HIDRAULICO Y TURBINA DE VAPOR

El bloque de la turbina de vapor es semejante al modelo estudiado para el punto 1.4.1.

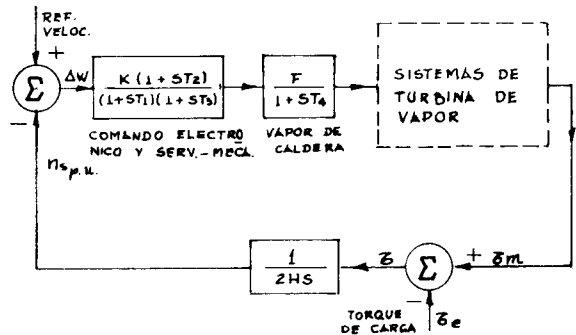


FIG. 6. Modelo simplificado de S.G.V. electro-hidráulico y T. de vapor.

Es de notar que con esta disposición se vuelve innecesario el servo de velocidad y la válvula piloto (presentes en el modelo mecánico-hidráulico), integrándose en cambio con ventaja el comando electrónico que presenta un adelanto de fase $(1+ST_2)$, que con valores adecuados proporciona una ventaja en rapidez de respuestas.

S.G.V. de fabricantes como por ejemplo de la General Electric y la Westinghouse cum plen dicha modelación.

1.4.4. S.G.V. ELECTRO-HIDRAULICO Y TURBINA HIDRAULICA

El rápido desarrollo de la técnica ha permitido tomar soluciones algo diferentes en lo referente al comando electrónico y aún de los servo-mecanismos, con lo que respecto a este sistema sólo se puede tener un modelo básico, a partir del cual cada fabricante realiza variaciones.

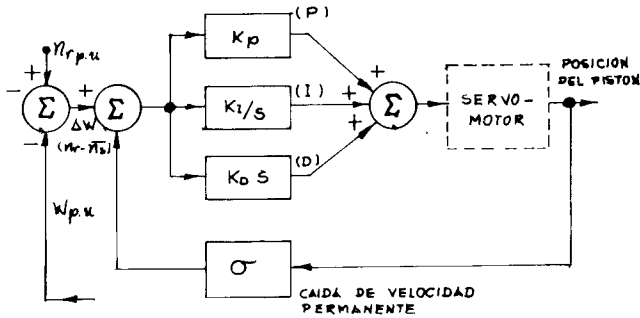


FIG. 7. Modelo básico de S.G.V. electro-hidráulico

Como se puede ver, el bloque de la turbina de vapor no ha cambiado del presentado en el punto 1.4.2.

En el S.G.V. básico, los resultados de acción proporcional (P), presentan un error de regulación permanente que elimina la acción integradora (I) introduciendo a su vez un desfaseamiento desfavorable en régimen transitorio, que lo compensa el avance de fase dado por la acción derivativa (D).

Por lo dicho, la mejor regulación es la realizada por el regulador que acumula las tres acciones.

Como este S.G.V. está destinado a reemplazar el mecanismo hidráulico por su clara ventaja, se presentan a continuación ejemplos de diversas variantes:

a) MODELO JAPONES DE LA MITSUBISHI

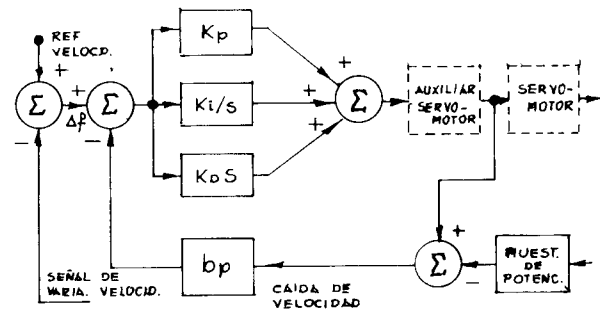


FIG. 8. Modelo de S.G.V. electro-hidráulico de la Mitsubishi

Se observa que en el lazo de realimentación de acción de caída de velocidad permanente se introduce una referencia de potencia.

b) MODELO EUROPEO (REGULADOR RAPID) DE LA NERPIC

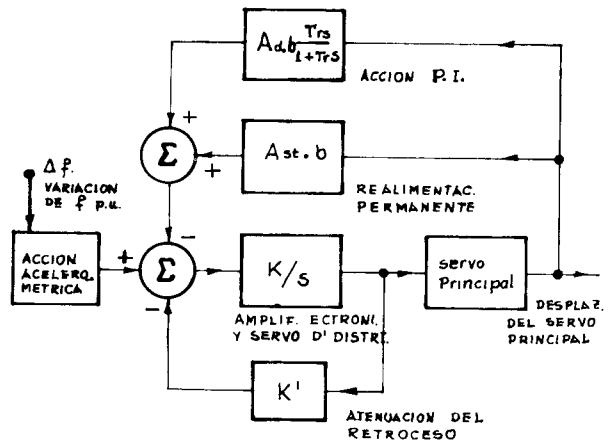


FIG. 9. Modelo resumido en bloques de las diferentes actuaciones en el S.G.V. "Rapid" de la NERPIC.

En este modelo de acción derivativa (D) se ha introducido con un bloque de función acelerométrica al principio del S.G.V., llegando al final a similar resultado que el obtenido con el modelo básico.

c) MODELO DEL S.G.V. INSTALADO EN KETTLE (U.S.A.)

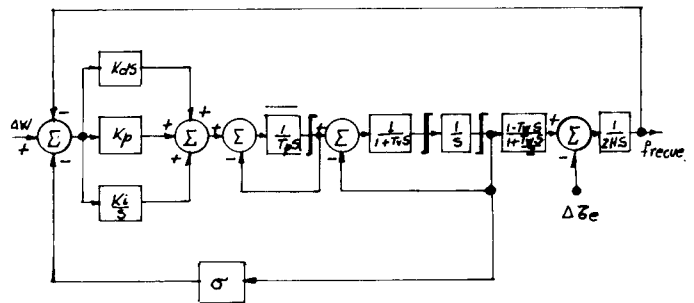


FIG. 10. Turbina "Kettle" y S.G.V.

Este gobernador es del tipo P.I.D., tiene una retroalimentación de caída permanente de la posición de compuerta, pero no presenta retroalimentación de caída temporal. Las constantes Kd, Kp y Ki representan las ganancias derivativa, proporcional e integral respectivamente.

2. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE UN SISTEMA REPRESENTADO POR VARIANTES DE ESTADO

2.1. INTRODUCCION

Un sistema de control que varía en el tiempo es un sistema en que uno o más de sus parámetros puede variar en función del tiempo. Las técnicas en el dominio del tiempo pueden utilizarse fácilmente para sistemas no lineales, que varían en el tiempo y de múltiples variables.

La representación de los sistemas de control en el dominio del tiempo, es una base fundamental para la teoría moderna de control y optimización.

En el análisis y diseño de los sistemas de control en el dominio del tiempo, se utiliza el concepto de estado de un sistema.

El estado de un sistema es un conjunto de variables, tales que el conocimiento de estas variables y de las funciones de entrada, junto con las ecuaciones describen la dinámica (o comportamiento del sistema), proporcionan la salida y el estado futuro del sistema.

Honey y Chaudhry en el pasado, han realizado trabajos dirigidos a definir la región de estabilidad de un S.G.V. de unidades generativas, usando el criterio de Routh-Hurwitz. El paso fundamental en este proceso es combinar las ecuaciones del sistema en orden a llegar a una ecuación diferencial de mayor orden que involucre la variable de velocidad de giro del eje de la turbina, siendo dicho criterio aplicado a los coeficientes de la ecuación. No obstante, para modelos donde los efectos de un gran número de parámetros son considerados, y donde el orden de la ecuación diferencial es alto, el criterio de estabilidad de Routh-hurwitz viene a ser impráctico. Un método de resolver ecuaciones diferenciales de orden alto es formular el problema en términos de variables de estado: primero se define las variables de estado del sistema a ser estudiado, luego, las ecuaciones son escritas usando la forma matricial general:

$$\dot{X} = |A|X + |B|U$$

La matriz A es importante desde el punto de vista de la estabilidad, ya que sus coeficientes dependen enteramente de los parámetros del sistema. Tomando en cuenta disturbios U, la matriz B nos relaciona tales señales de entrada con el sistema (aunque no tiene ingerencia con la estabilidad del sistema).

En la investigación de la estabilidad del sistema, es normal observar los efectos de un número de cambios de los parámetros (va-

riables de estado). Por ser este el caso, las ganancias críticas (o las constantes de las cuales son función), serán denominadas como parámetros primarios.

La teoría de sistemas lineales nos indica que los valores propios ("eigen values") λ_i o raíces latentes, pueden encontrarse resolviendo el determinante igualado a cero:

$$|A - \lambda I| = 0$$

Como usualmente se trata de matriz de orden alto, se deberá utilizar métodos digitales para la obtención de los valores propios de tal matriz, cuyo significado es el lugar geométrico de las raíces de la ecuación característica de dicho sistema.

El examen de los signos asociados con las partes reales de los valores propios, proporciona prueba suficiente de la estabilidad, ya que trabajando en el plano complejo, siempre que un valor propio llegue a ser positivo, el sistema descrito para las variables en tal situación, será inestable.

Variando dentro de sus rangos de utilización, los parámetros del sistema en la ecuación matricial, la estabilidad y el comportamiento para tal sistema de control pueden ser examinados.

2.2. ESTUDIO DE LA SENSIBILIDAD DE UN MODELO A VARIACIONES DE PARAMETROS CRITICOS Y RESPUESTA A PERTURBACIONES EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

Para realizar el análisis del efecto de variación de los parámetros más significativos, se va a tomar uno de los modelos estudiados por Dhaliwal y Wichert, debido a la disponibilidad de datos. Dicho modelo corresponde a un S.G.V. electro-hidráulico de hidroturbinas que presenta señal de retroalimentación de posición de compuerta por medio de la caída temporal y una señal de caída permanente de salida desde la potencia eléctrica del grupo.

Su diagrama de bloque presenta las señales tomadas como variables de estado.

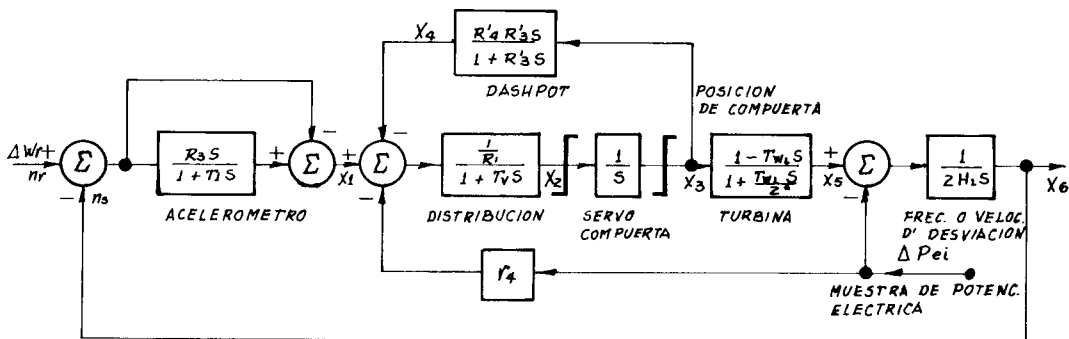


FIG. 11. Modelo del S.G.V. electro-hidráulico en T. hidráulica instalado en Long Spruce (U.S.A.)

Para la formulación de las variables de estado de dicho modelo se va a asumir:

1. Válida una representación lineal del sistema, esto implica señales de disturbios pequeños a ser consideradas.
2. La relación entre torque mecánico y posición de compuerta viene dada por:

$$T_{\text{mecánico}} = \frac{1 - TWS}{1 + \frac{TW}{2} S} \text{ "compuerta"}$$

3. Operación aislada para el modelo.

Refiriéndose al diagrama de bloque se tiene:

- R_3 = Ganancia derivativa (Kd) (Parámetro crítico) ($2 \leq R_3 \leq 7.8$)
- R_4' = Caída temporal (parámetro crítico) ($0.2 \leq R_4' < 1$)
- R_3' = Tiempo de restablecimiento (parámetro crítico) ($0 \leq R_3' \leq 1.5$)
- γ_4 = Caída permanente (0.03)
- $1/R_1$ = Ganancia de la válvula de distribución (1/0.2)
- T_1 = Constante de tiempo acelerométrica (0.9)
- TV = Constante de tiempo de la válvula de distribución (0.04)
- TW = Tiempo de arranque del agua (1,28)

ΔPe_1 = Señal de salida de potencia eléctrica (0.1)

HL = Constante de inercia del eje (4)

Es de notar que dicho modelo constituye un tipo P.I.D.:

$$\frac{R_4' R_3' S}{1 + R_3' S} = \frac{1}{\frac{1}{R_4' R_3' S} + \frac{1}{R_4'}}$$

que identificando:

$$\frac{1}{R_4' R_3'} = Ki$$

$$\frac{1}{R_4'} = Kp$$

y siendo $R_3 = Kd$

Del modelo en diagrama de bloque, se obtiene la notación matricial (en condiciones relajadas o nulas).

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \\ \dot{X}_4 \\ \dot{X}_5 \\ \dot{X}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_1} & & & & & \\ \frac{1}{R_1 TV} & -\frac{1}{TV} & & & & \\ & & -\frac{1}{R_1 TV} & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & R_4' & \\ & & & & & -\frac{1}{R_3'} \\ -2 & \frac{2}{TW} & & & & \\ & & & & & -\frac{2}{TW} \\ & & & & & \frac{1}{2HL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2HL} + \frac{R_3}{2TVHL} \\ \frac{R_4}{R_1 TV} \\ \\ \\ -\frac{1}{2HL} \end{bmatrix} \Delta Pe_i$$

PARAMETROS DEL SISTEMA VARIABLES DE ESTADO PARAMETROS DEL DISTURBIO

FIG. 12. Modelo matricial de variables de estado del S.G.V. electro-hidráulico en T. hidráulica de Long Spruce (U.S.A.)

Donde cada variable de estado es:

- X_1 = Señal de error de velocidad más acción acelerométrica sobre ella.
- X_2 = Señal de posición de la corredera del servo de distribución.
- X_3 = Señal de posición de la corredera del servo de "compuerta".
- X_4 = Señal del amortiguador ("Dashport").
- X_5 = Señal de torque o potencia de salida de la turbina.
- X_6 = Señal de frecuencia o velocidad de giro del eje.

RESPUESTA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO DE LAS VARIABLES DE ESTADO

Las figuras siguientes proporcionan una idea de la variación simultánea de las variables de estado, para los valores establecidos de parámetros críticos $R_4 = 0.38$ $R_3 = 6$ $R_3 = 0.3$ frente a una disminución de carga del 10%.

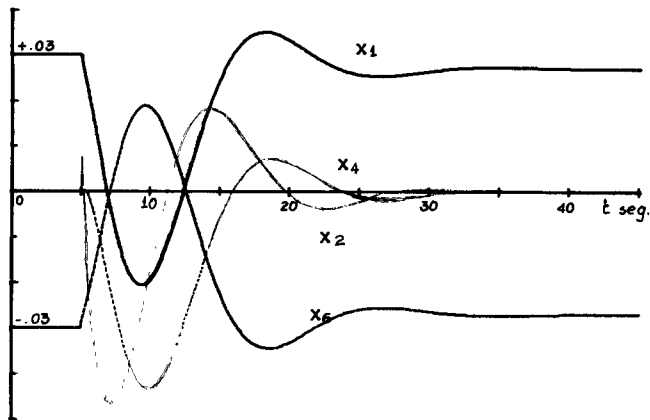


Fig 13 RESPUESTA DE LOS ESTADOS DEL MODELO A UN CAMBIO DEL 10% DE CARGA

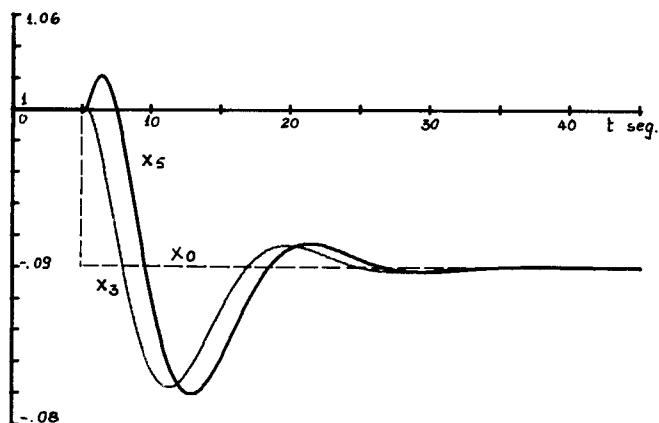


Fig 14 RESPUESTA DE LOS ESTADOS DEL MODELO A UN CAMBIO DEL 10% DE CARGA

Se ilustrará a continuación los valores propios λ_i de parámetros críticos $R_4 = 0.38$ $R_3 = 6$ $R_3 = 0.3$ tomados arbitrariamente:

- $\lambda_1 = -22,812$
- $\lambda_2 = -3,613$
- $\lambda_{3,4} = -0.513 \pm j 0.163$
- $\lambda_{5,6} = -0.195 \pm j 0.389$

Donde:

λ_1, λ_2 : Valores propios con parte real exclusivamente, suficientemente alejados del eje imaginario como para no ser considerados en el análisis.

$\lambda_{3,4}$: Valores propios cuya parte imaginaria β de dicho par conjugado, es poco dependiente de las condiciones de operación y de los parámetros de control del sistema. El valor de β es igual a la frecuencia de oscilación sincrónica de unidad (oscilando frente al sistema). Su período es más bien corto, pues es eléctrica su naturaleza. Sus valores están exclusivamente en la región izquierda del plano complejo.

$\lambda_{5,6}$: Valores propios más significativos van siempre en par conjugado. La parte imaginaria β es muy dependiente de los parámetros críticos de control del sistema, ya que β es primordialmente asociada con los efectos mecánicos, su período es mucho más largo. Los valores en su gran mayoría están situados en la región de estabilidad.

GANANCIA DERIVATIVA R_3

La figura siguiente muestra el lugar geométrico de las raíces dominantes para variaciones de los valores de R_3 dentro de su rango.

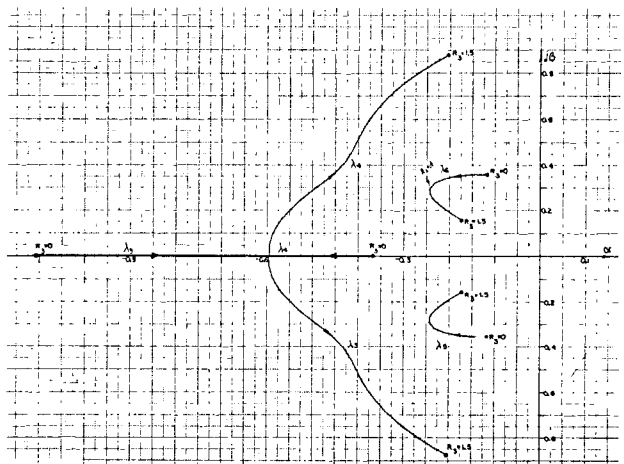


FIG. 15. Variación de R_3 en los valores propios del modelo para $R_4 = 0.4$ $0 \leq R_3 \leq 1.5$

El incremento de R_3 hasta por el valor de 0.4, incrementa el amortiguamiento de λ_5 y λ_6 sin cambio de la frecuencia apreciable.

Los valores propios λ_3 y λ_4 indican que a los valores altos de R_3 , los valores propios tienden hacia la región de inestabilidad, tornándose dichos valores en muy significativos.

Una corrida digital para un 10% de cambio de carga, se realizó para diferentes R_3 . La figura muestra las variaciones de frecuencia obtenida de dichas simulaciones.

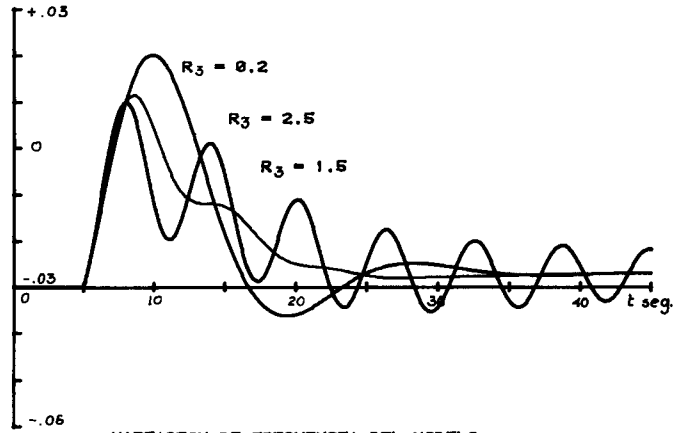


Fig. 16 VARIACION DE FRECUENCIA DEL MODELO. PARA DIFERENTES R_3 CON $R_4 = .4$ $R_3 = 0$

Es de interés notar que para $R_3 = 1.5$, la respuesta comienza a ser oscilante, lo cual está de acuerdo con lo examinado para los valores propios en el plano complejo.

TIEMPO DE RESTABLECIMIENTO R_3

La figura siguiente muestra el lugar geométrico de los valores propios dominantes para variaciones de los valores de R_3 dentro de su rango.

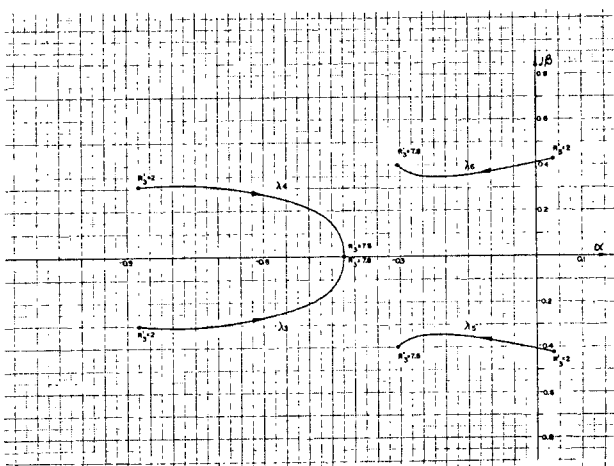


FIG. 17. Variación de R_3 en los valores propios del modelo para $R_4 = 0.4$ y $R_3 = 0.3$ $2 \leq R_3 \leq 7.8$

El incremento de los valores de R_3 incrementa el amortiguamiento de λ_5 y λ_6 , pero el cambio en la frecuencia de oscilación es pequeño.

La figura 18, muestra las variaciones de frecuencia para disminución de carga del 10% obtenida de la simulación, donde el efecto de amortiguación esperado puede ser visto con el incremento de R_3 .

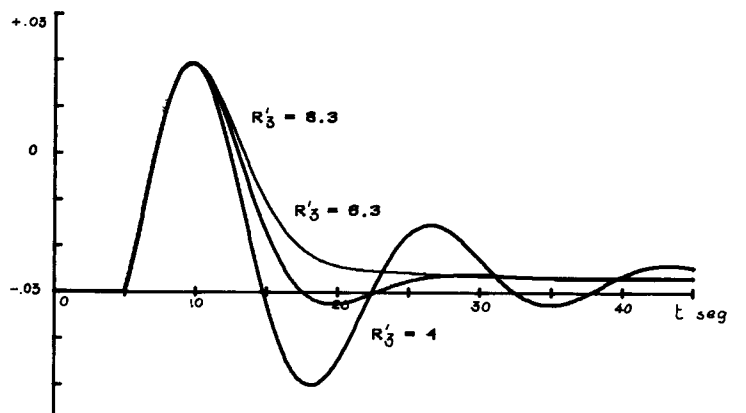


Fig. 18 VARIACION DE LA FRECUENCIA DEL MODELO PARA DIFERENTES R_3 CON $R_4 = .4$ $R_3 = .3$

CAIDA TEMPORAL R_4

La siguiente figura muestra igualmente el lugar geométrico de las raíces para la variación de este parámetro dentro de su rango.

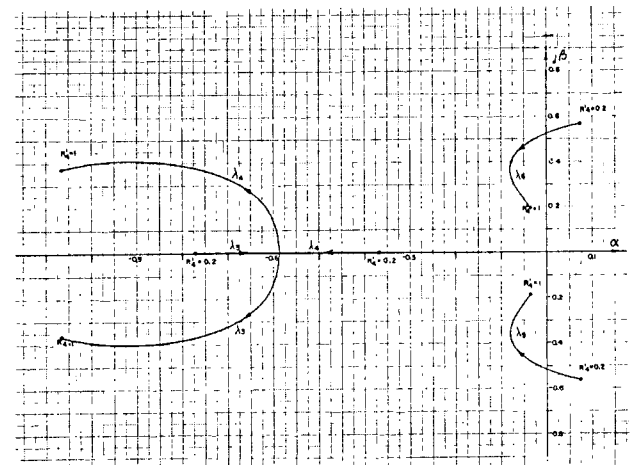
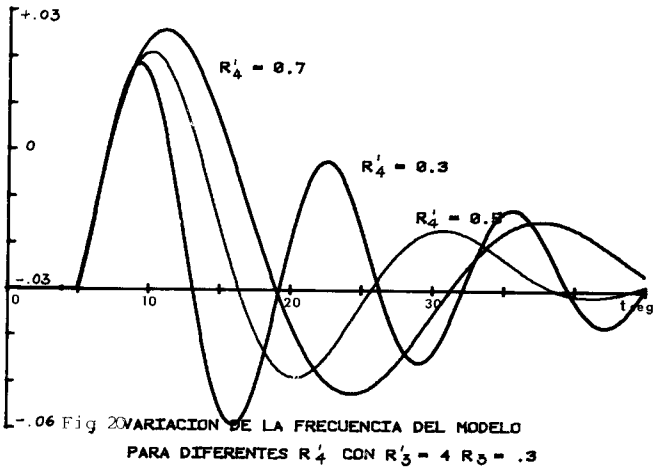


FIG. 19. Variación de R_4 en los valores propios del modelo para $R_3 = 0.3$ y $R_3 = 4$ $0.2 \leq R_4 \leq 1$

El incremento en los valores de R_4 disminuye la frecuencia en la mayoría de las raíces dominantes. Sin embargo el incremento de R_4 aumenta el amortiguamiento sólo arriba de cierto nivel, y cualquier posterior incremento de R_4 da como resultado una disminución de amortiguamiento. La figura de respuesta en el tiempo verifica los resultados observados anteriormente en el dominio del plano complejo.



La figura 21 muestra el dibujo del valor propio más significativo λ_6 para una ganancia derivativa $R_3 = 0.3$ y varios valores de R_3 y R_4 .

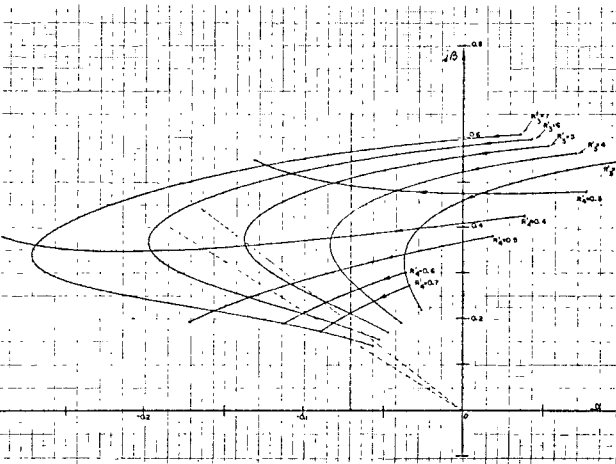


FIG. 21. "Rastreo" del valor propio dominante λ_6 de las variaciones de R_3 y R_4 para $R_3 = 0.3 \quad 2 < R_3 < 7.8$
 $0.2 < R_4 < 1$

La figura 22 muestra curvas similares para un valor más alto de R_3 (0,9). La comparación de dichas curvas muestra que el lugar geométrico de λ_6 se traslada a la izquierda para un valor de ganancia derivativa de mayor valor.

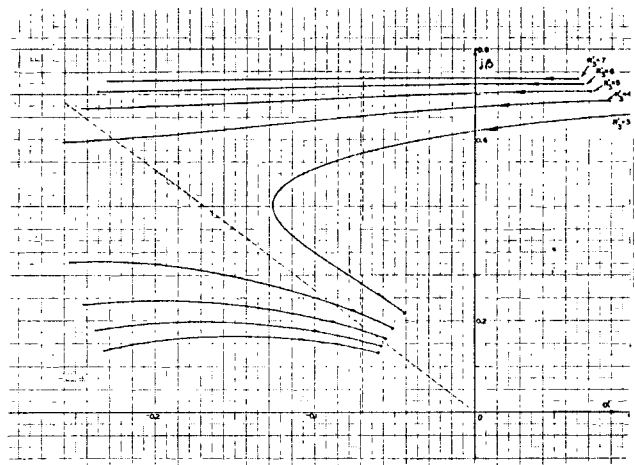


FIG. 22. "Rastreo" del valor propio dominante λ_6 de las variaciones para $R_3 = 0.9$ y varios $R_4 \quad 0.2 < R_4 < 1$

Esto indica que el límite de estabilidad puede ser incrementado aumentando la ganancia derivativa.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha podido observar que cualquier tipo de S.G.V. se puede reducir utilizando diagramas de bloques, a pocos modelos básicos. Aplicando a dichos modelos la representación en variables de estado, se puede analizar el comportamiento de los sistemas en el plano complejo y su respuesta en el dominio del tiempo.

Del examen correspondiente a la modelación matemática de los S.G.V., se puede determinar un modelo único para el tipo mecánico-hidráulico; para el electro-hidráulico se ha presentado un modelo básico. Los modelos electro-hidráulicos están llamados a sustituir con ventajas de rapidez de respuesta y fácil colocación física, a los ya obsoletos mecánico-hidráulicos.

El método de estudio utilizando variables de estado brinda un campo de análisis en el plano complejo más amplio, que el que se puede sacar utilizando los métodos clásicos para el campo de la estabilidad, ya que proporciona el lugar geométrico de las raíces del sistema en el plano complejo; consecuentemente da información inmediata sobre los límites de estabilidad absoluta, relativa y de sobrenivel máximo permisible, permitiendo determinar la zona de operación adecuada, útil para un sistema real. Así mismo proporciona información simultánea de las salidas consideradas como variables de estado, ya que trabaja con sistemas de multivariables, es decir con varias entradas y salidas.

Es de anotar el uso imprescindible de los sistemas de computación para el análisis de sistemas.

Una extensión del trabajo realizado para operación aislada constituiría el estudio

del efecto de las variaciones de los parámetros críticos para operación conjunta de turbinas, integrando para completar el campo generativo, los bloques del sistema de excitación.

REFERENCIAS

1. IEEE Committee Report " Dynamic Model for Steam and Hydroturbines in Power System Studies" IEEE Trans. Power App. Syst. Nov./Dec. 1973.
2. N.S. Dhaliwal, H. E. Wichert "Analysis of P.I.D. Governors in Multimachine System" IEEE Trans. Power App. Syst. March/April 1978.
3. Vinicio Reinoso "Modelación y Simulación de los Sistemas de Regulación de Velocidad de Turbina" Tesis de Grado. Agosto 1981.

REYNOSO, VINICIO. Nació en Loja el 4 de Agosto de 1951. Graduado de Ingeniero Eléctrico Agosto de 1981 E.P.N. Actualmente trabaja en el Instituto - de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional.

BARAJAS, LUIS. Nació en Quito el 11 de Agosto de 1947. Grado de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en Julio de 1973 E.P.N. Master en Ciencias (M.Sc.), Diciembre de 1975 en COPPE- Universidad Federal de Río de Janeiro. Actualmente trabaja en la Facultad de Ingeniería Eléctrica - Coordinador del Area de Control Electrónico de Potencia. Trabaja en los Laboratorios de Control y Computación.