

Control de Velocidad Digito – Electro – Hidráulico para una Turbina de Vapor de 350 MW

Brito Barrara Leandro, Bravo Dueñas Martín Alberto, Carrasco Miranda Tonatiuh Mario y Soto Pérez Juan Carlos.

Departamento de Ingeniería en Control y Automatización, ESIME-IPN, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, col. Lindavista, Edificio 2, Planta Baja, C.P. 07738, México D.F.

bbleandro@yahoo.com

Resumen

Una turbina de vapor (TV) es una máquina que convierte la energía del vapor en trabajo mecánico.

El vapor de la caldera se administra a través de dos válvulas principales de paro conectadas en paralelo y después a la caja de las cuatro válvulas de control.

Las válvulas de control se operan en secuencia para dar una curva de arranque de revoluciones por minuto (rpm) contra tiempo. El servo-motor de las válvulas de control es de doble efecto.

La unidad digital de control de velocidad se encarga de medir la velocidad de la TV y compararla con la velocidad ajustada en la interfaz humano maquina (HMI).

Ésta unidad de control es parte del tablero de operación de la TV y es una parte digital que se utiliza para determinar la rapidez con que se incrementa la velocidad de la TV durante el rodado.

En este artículo se analiza la regulación de la velocidad de rodado, por variación del grado de admisión de flujo másico de vapor (G), también conocido como regulación cuantitativa.

Para el control de las válvulas de admisión de G , se programa el modelo matemático de la curva de arranque en un PLC. Esto para diferentes escenarios de arranque.

Palabras clave: Control de velocidad, turbinas de vapor, rodado de turbinas, Arranque en frío, arranque en caliente.

1. Introducción

Generalmente en el proceso de calidad de generación de energía eléctrica, en una planta termoeléctrica, las turbinas de vapor (TV) deben girar a una velocidad constante, esta velocidad esta impuesta por la frecuencia de la red a la que se encuentra conectado el generador, al que la turbina de vapor esta acoplada.

Ocurren perturbaciones en la TV que afectan su velocidad de giro, por lo que existen sistemas de control de velocidad mecánicos, mecánico-hidráulicos, electro-hidráulicos y digito-electro-hidráulicos. Pero a excepción del sistema digito-electro-hidráulico, todos los demás sistemas generan tiempos muertos debido al mantenimiento que deben recibir.

En el caso de la TV de 350 MW trabaja un ciclo Rankine con recalentamiento y regenerativo. El equipo principal es la turbina de vapor se muestra en la Figura 1.

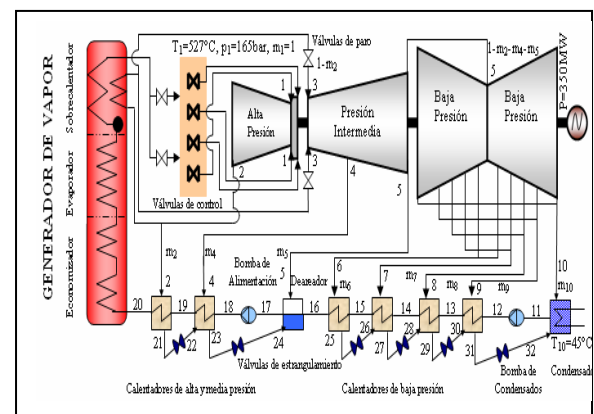


Fig. 1. Ciclo Rankine regenerativo y con recalentamiento de una TV de 350 MW

La TV esta compuesta de tres cuerpos, el de alta presión (AP), el de presión intermedia (PI) y el de baja presión (BP), un recalentamiento de vapor entre la expansión de los cuerpos de AP y de PI, un condensador (C), seis calentadores de agua de superficie con cascada hacia atrás, un desgasificador, dos bombas (B_1 =de condensados y B_2 =de alimentación), un generador de vapor (GV, también conocido como caldera), dos válvulas de paro en la turbina de AP, dos válvulas de paro en la turbina de PI y cuatro válvulas de control, ver Figura 1.

Para mantener la velocidad de giro de generación de una TV es necesario e indispensable que el sistema cuente con un control de velocidad, esto para mantener constante la velocidad de giro y asegurar una buena calidad en la energía eléctrica producida.

Un mecanismo controlador de velocidad digito – electro – hidráulico provee flexibilidad por medio del uso de dispositivos digitales en conjunto con componentes electrónicos. En donde el procesamiento de las señales de los sensores se realiza digitalmente y también en este tipo de sistema, se eliminan los elementos de los tableros de control y todos los paneles de control se conjuntan en una pantalla de una computadora, para que después del procesamiento de datos, las señales lleguen a las válvulas indicándoles abrir o cerrar.

Una vez eliminados los elementos del sistema de control que requieren de mantenimiento, el mantenimiento sólo se centrará en la TV y sus elementos auxiliares.

2. Sistema digital de control de velocidad

2.1 Descripción del proceso

El vapor de la caldera se administra a través de las dos válvulas principales de paro de la turbina de AP conectadas en paralelo y después a la caja de las cuatro válvulas de control, ver Figura 1. Las válvulas de control se operan en secuencia para dar una curva de arranque revoluciones por minuto (rpm) contra tiempo, curva que cambia en el tiempo durante el arranque de la turbina, pero que permanece constante en la generación de potencia eléctrica. El servo-motor de las válvulas de control es de doble efecto.

La TV cuenta con una corona fija forma conductos de expansión o toberas, que distribuyen en segmentos el vapor, cuya admisión se hace a través de cuatro válvulas.

Las válvulas se abren sucesivamente con un ligero solape en la apertura, de manera que en cada carga parcial, alguna o algunas de las válvulas se hallan totalmente cerradas y las demás totalmente abiertas, excepto una sola válvula que esta parcialmente abierta, si se trata de una carga intermedia, originándose un pequeño estrangulamiento en la misma

2.2 Principio de control

Para mantener un número de rpm constante que sea económica en el funcionamiento y/o en la instalación, debe tener una dependencia directa con la potencia. La potencia útil (P_U) de la turbina de vapor es igual a flujo másico de vapor a la entrada de la turbina de AP (G) por el salto entálpico (Y) y por la eficiencia total (η_{tot}) de la turbina.

$$P_U = GY\eta_{tot} \quad (1)$$

La η_{tot} se procura mantener lo más elevado posible en la regulación. Para disminuir P_U se puede actuar sobre el salto entálpico Y, sobre el flujo másico de vapor G o sobre ambas cosas simultáneamente.

En este caso se actuará sobre la regulación por variación del grado de admisión de G, también conocido como regulación cuantitativa. Para disminuir la potencia se varía el grado de admisión, que provoca la disminución de G. Idealmente en el método de regulación cuantitativa no se produce estrangulamiento alguno, y se reduce la potencia por disminución de G (de ahí el nombre de regulación cuantitativa), permaneciendo Y invariable.

Para el control de las válvulas de admisión del flujo másico G, se programa, en un PLC, el modelo matemático de la curva de potencia P con respecto de flujo de vapor G, que tiene como variables de entrada la temperatura y presión del vapor vivo que entra a la turbina de AP y la potencia útil P_U de la turbina, las variable de salida es el flujo másico de vapor G. Esto para diferentes escenarios de arranque.

Para cada escenario de arranque se tiene a) Tipo de arranque, b) Velocidad ajustada, c) Supervisión de velocidad, d) Monitoreo de velocidad y aceleración y e) Coincidencia de velocidad.

Con esto, cuando arranca la turbina, un incremento de flujo másico G conlleva un incremento de velocidad por lo que la velocidad se controla directamente por las válvulas de control y también se

genera un incremento en la potencia útil P_U . Pero cuando la turbina llega a la velocidad ajustada, un incremento del flujo másico G solo debe generar un incremento en la potencia P_U y la velocidad debe permanecer constante, por lo que se controla la velocidad con la doble corona tipo curtis y/o con una caja de engranes, de acuerdo a la coincidencia de velocidad programada.

2.3 Unidad digital de control de velocidad

La Figura 2 muestra la unidad digital de control de velocidad, donde un sensor se encarga de medir la velocidad de la turbina y el PLC de compararla con la velocidad ajustada en el tablero de control desplegado en la computadora, esto para igualar las velocidades y mantenerlas constantes respetando el rango de aceleración seleccionado en el mismo tablero digital.

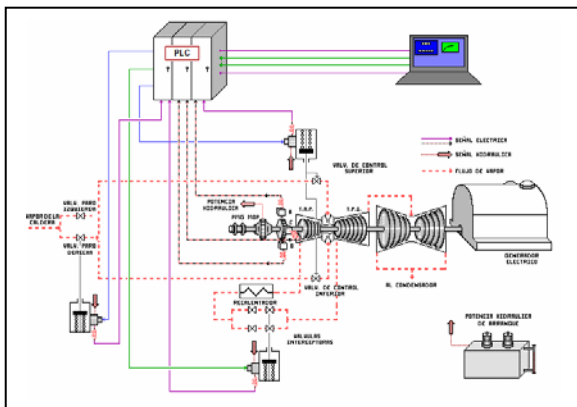


Fig. 2 Diagrama simplificado de control de velocidad de una TV de 350 MW.

Cuando la velocidad de ajuste de la turbina es modificada en aumento, el control de aceleración debe actuar y modificar la velocidad de la turbina para llevarla a su nuevo valor seleccionado.

Debido a que la velocidad de la turbina es una de las variables mas importantes, se tiene un sistema de medición de dos señales redundantes para el control, si ambas señales fallan viene el disparo de la turbina.

2.4 Tipo de arranque.

Esta sección del tablero digital se utiliza para determinar la rapidez con que se incremente la velocidad de la turbina durante el rodado.

A continuación se describe las partes que lo componen:

- 1) “Lento”.- Al oprimir este botón se selecciona automáticamente la aceleración correspondiente a 120 r.p.m./min, que es un valor de aceleración lento y se utiliza normalmente en rodados fríos.
- 2) “Medios”.- Al oprimir este botón se selecciona automáticamente la aceleración correspondiente a 180 r.p.m./min. que es un valor de aceleración medio y que se utiliza normalmente en los rodados calientes.
- 3) “Rápidos”.- Al oprimir este botón se selecciona automáticamente la aceleración correspondiente a 360 r.p.m./min. que es un valor de aceleración alto y que se utiliza normalmente en rodados calientes.

2.5 Velocidad ajustada

Esta parte del tablero se utiliza para seleccionar la velocidad de la turbina que sea requerida por el operador y esta constituida por los siguientes botones.

- 1) “Cerrar válvulas”.- Al oprimir este botón se cierra las válvulas de gobierno instantáneamente para disminuir la velocidad de la turbina, cuando se energiza el tablero de control de la turbina, este estado es seleccionado automáticamente.
- 2) “200”.- Al oprimir este botón y si la turbina esta restablecida, el control de velocidad ordena a las válvulas de gobierno abrir para llevar la velocidad a 200 r.p.m. y mantenerse en esa velocidad.
- 3) “1000”.- Al oprimir este botón y si la turbina esta restablecida, el control de velocidad ordena a las válvulas de gobierno abrir para llevar la velocidad a 1000 r.p.m. y mantenerse en esa velocidad.
- 4) “3000”.- Al oprimir este botón y si la turbina esta restablecida, el control de velocidad ordena a las válvulas de gobierno abrir para llevar la velocidad a 3000 r.p.m. y mantenerse en esa velocidad.
- 5) “3600”.- Al oprimir este botón y si la turbina esta restablecida, el control de velocidad ordena a las válvulas de gobierno abrir para

llevar la velocidad a 3600 r.p.m. y mantenerse en esa velocidad.

- 6) “Prueba de sobre velocidad”.- Al oprimir este botón, la velocidad de la turbina empieza a aumentar para realizar la prueba del circuito de disparo por sobre velocidad que se explicara posteriormente, para que se pueda realizar esta prueba se requiere que la turbina este girando a 3600 r.p.m. y que la unidad no se encuentre sincronizada el sistema.

La Figura 3 muestra una imagen del tablero de control digital.



Fig. 3. Tablero digital de control.

3. Arranque de la turbina de vapor.

Para simular de la respuesta del sistema en velocidad se necesita contemplar todos los componentes que integran la TV, pero como algunos componentes no son lineales, como las válvulas de control, hay que obtener la función de su respuesta e introducirla junto con todas las demás funciones de transferencia en MATLAB y SIMULINK, la Figura 4 muestra el diagrama a bloques de los componentes que integran la TV obteniendo al final su respuesta.

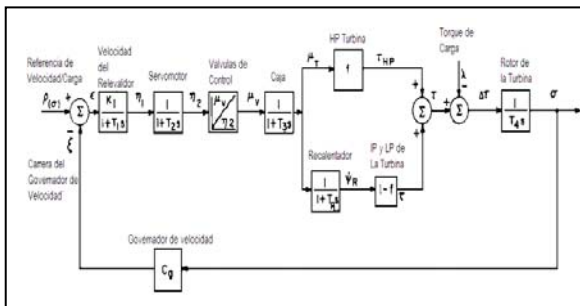


Fig. 4. Diagrama a bloques de la TV de 350 MW.

En la figura 4 se puede observar las funciones de transferencia de los elementos que componen la TV, también se toma en cuenta las pérdidas por fricción y tiempos de retardo que se generan en el recalentador y en el rotor de la TV.

Una vez que el operador selecciona el tipo de arranque y la velocidad ajustada y la caldera suministra suficiente vapor, comienza el proceso de arranque y se va generando la consigna de velocidad hasta que se sincroniza la máquina, de acuerdo a la curva que se muestra en la Figura 5, para después pasar a un control de carga ya en operación.

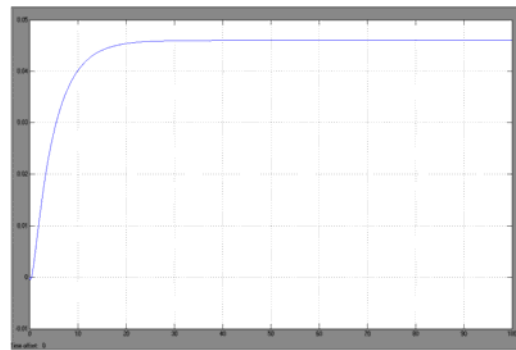


Fig. 5. Esquema del arranque en frío de la TV

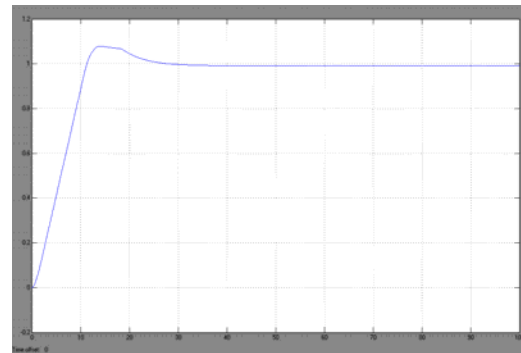


Fig. 6. Esquema del arranque en caliente de la TV

En la Figura 5 se puede observar la gráfica de la respuesta en velocidad de la TV, cuando se ha hecho un arranque en frío. Cabe señalar que la respuesta solo llega al 0.055 por que las funciones se manejan en porcentajes. Por lo tanto el 0.055 corresponde a las 200 r.p.m.

En la Figura 6 se puede observar la gráfica de la respuesta en velocidad de la TV, cuando se ha hecho un arranque en caliente. Cabe señalar que la respuesta tiene un sobre tiro que es regulado en menos de 15 segundos, también podemos señalar que la respuesta llega a 1 esto es debido a que 1 corresponde a las 3600 r.p.m.

4. Conclusiones

Para hacer un cambio o actualización de control electro-hidráulico, que es el que actualmente tienen la mayoría de TV, a control digito-electro-hidráulico es necesario respetar todas las señales y variables implicadas en el proceso y solo es necesario agregar un PLC con la unidad de control programada en él.

Es necesario decir que en el control electro-hidráulico es complicado resolver las funciones de transferencia de los equipos y del controlador, por medio de amplificadores operacionales y en el control digito-electro-hidráulico es mucho más sencillo resolverlas ya que solo es necesario programarlas dentro del PLC y direccionar las señales que vienen del proceso a las entradas indicadas para que el PLC se encargue de procesarlas y otorgar la orden de control.

Referencias

- [1] Asenjo S. "Control de turbinas de gas y de vapour", Energía, Alcion, 6, España 2001.
- [2] Ogata K. "Ingeniería de control moderno", Prentice hall, México, Cuarta edición, 2003.
- [3] Mataix C. "Turbomáquinas térmicas", Limusa, México, Tercera, 2000.
- [4] Eggenberger M. A. "Introduction to the Basic elements of control systems for large steam turbina-generators", General electric, New york, 1982.
- [5] Brito L. "Análisis termodinámico de una turbine de vapour de 350 MW, caso: Manzanillo II", XXII Congreso Nacional de Termodinámica, México 2007.