REGULACION DE FRECUENCIA DE UNA MICROCENTRAL

HIDROELECTRICA, MEDIANTE UN SISTEMA

DIGITAL PROGRAMABLE

RAMOS IVAN INC. UNIVERSIDAD DEL VALLE - CALI, COLOMBIA

RESUMEN

Este trabajo es el resultado de un proyecto de investigación llevado a cabo en la Universidad del Valle, mediante un contrato con el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, consistente en el diseño y construcción de una microcentral hidráulica. El aspecto importante del proyecto es el hecho de mostrar que tenemos la tecnología y segundo, el aprovecharla para dotar de energía eléctrica las regiones apartadas donde son elevados los costos de interconexión.

Este trabajo presenta una solución moderna al control de la frecuencia (control de velocidad de la turbina) del grupo turbina alternador. El hecho de haberse implementado con base en un microprocesador permite cumplir con las características que se enuncian a continuación. En esta primera solución se emplea el método de discretización para programar el sistema y se está estudiando actualmente su desarrollo por variables de estado y variables muestreadas.

INTRODUCCION

Las principales características que se han buscado para la concepción y mantenimiento del regulador electrónico de velocidad y voltaje son:

- 1) Un modo de regulación que permita obtener fácil y simplemente una excelente calidad de regulación, es decir, una regulación de velocidad proporcional, integral y derivativa (PID) y una regulación de potencia proporcional, integrativa (PI) con una medida directa de la potencia activa del generador.
- 2) Una muy buena precisión. Esta precisión se consigue por la exactitud de las mediciones y haciendo el regulador electrónico prácticamen te insensible a los efectos de temperaturas y envejecimiento.
- 3) Una buena confiabilidad. Se obtiene a partir de una buena selección de los elementos del control electrónico y del controlador electrome cánico, por la escogencia de los órganos de medida y actuación sin contactos deslizantes (medidores de posición). Respetando los factores de seguridad es posible asegurar un mante nimiento tal que permita que la vida útil del sistema sea comparable al de la instalación hi droeléctrica misma.

- 4) La posibilidad de adaptación de los circuitos electrónicos y de los órganos electromecánicos a una evolución tecnológica eventual de sus partes constitutivas manteniéndose al fácil intercambio de las nuevas unidades (circuitos integrados).
- 5) Un fácil mantenimiento, gracias a que la unidad de control puede reemplazarse completamente en el momento que se requiera sin que se causen mayores traumatismos.

3.1 <u>EL ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE REGU-</u> LACION

El esquema del principio de regulación de la figura l muestra todos los elementos que participan en la regulación: el controlador de procesos el actuador y el grupo turbina-alternador. Se considera el grupo marchando en vacio y no sincronizado.

3.2 <u>DESCRIPCION DEL ESQUEMA DEL PRIN</u>-CIPIO DE REGULACION

3.2.1 Alimentación

Toda la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del regulador es entregada por las baterías de la central o directamente por los sistemas auxiliares de AC de la central. En nuestro caso, el motor que va a mover el distribuidor de la turbina es un motor AC y por consiguiente, la puesta en marcha del grupo debe hacerse por medio del sistema manual de que dispone el actual "andco" seleccionado, una vez el grupo esté en marcha, la energía AC necesaria se toma en derivación de la línea. Las baterías alimentan además de los circuitos de señalización, el sistema electrónico de control (controlador de proceso).

3.2.2 Valores de Referencia del Regulador

Todos los valores de referencia necesarios para el funcionamiento del sistema pueden entrar se por medio del teclado. Existen valores fijos y valores que pueden alterarse, entre los primeros contamos la velocidad nominal, las aberturas máxima y mínima del distribuidor de la turbina y el voltaje nominal. Las referencias que pueden alterarse son: la potencia máxima y la abertura máxima cuando se desee operar el grupo en paralelo con una red infinita, donde el regulador entrega potencia pero no ejerce control de frecuencia.

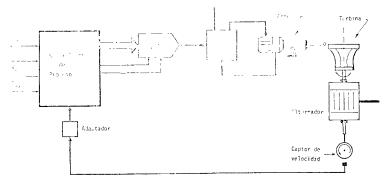


Fig. l.- Esquema de la instalación

3.2.3 El Actuador

El actuador escogido es similar al modelo 6605 de la firma ANDCO ACTUATORS PRODUCTS INC (Figura 2).

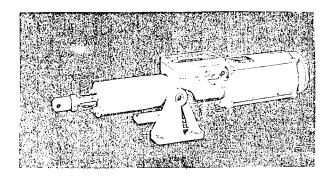


Fig. 2.- Actuador ANDCO modelo 6605

El actuador en sí, es un conversor voltaje-posición. Está constituido por un motor eléctrico acoplado a un eje roscado sobre el cual desliza una tuerca que mueve la barra impulsora. El motor eléctrico, mediante el acople hace girar el tornillo impulsor (figuras 3 y 4). La rotación del tornillo impulsor, hace que la tuerca armonizante y la barra adjunta se muevan axial mente. Al momento de impedirse el movimien to hacia adentro o hacia afuera del conjunto de la barra impulsora, ya sea por terminación de la carrera o por alguna obstrucción externa, el tornillo impulsor y la leva de sobrecarga se mueven en dirección opuesta contra los resortes de sobrecarga de empuje. Una vez se logra la fuerza de sobrecarga preestablecida, una leva de sobrecarga actúa un microinterruptor, desconectando el motor. En funcionamiento normal, el actuador recibe ordenes de su control electrónico, ordenes que son del tipo "todo o nada" y que se miden en tiempo, dado que la velocidad del motor es constante y el recorrido del impulsor es proporcional al tiempo que dure energizado el motor.

El control del actuador envía señales al actuador que comportan dos variables, tiempo y sentido de giro. El impulsor está acoplado directamente al distribuidor de la turbina y por consiguiente la nueva abertura calculada, por el calculador de procesos, es convertida por el actuador en una nueva posición del impulsor. Esto, se explicará con más detalles adelante.

El actuador está provisto de un sistema manual de operación, de tal manera que en caso de fallo del sistema electrónico, el operador puede manualmente cerrar la turbina. Así mismo, en el momento del arranque se fija manualmente la abertura mínima de arranque para que luego sea el control electrónico el que tome el mando de la operación automática.

3.2.4 Control del Actuador

Se escogió el modelo 500 de la misma firma, el cual está manejado por una señal de 4-20 MA (proveniente del calculador de procesos) y tiene una realimentación potenciométrica de posición (figura 5)

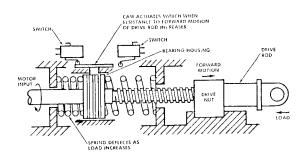


Fig. 3.- Detalle del Actuador

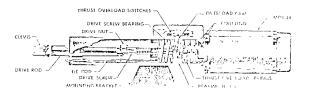


Fig. 4. -

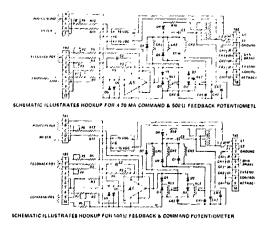


Fig. 5. - Mando Eléctrico del Actuador

En principio, está constituído por una fuente AC monofásica, la cual proporciona las tensiones DC de + 15 V, o, y - 15 V necesarias para alimentar el amplificador operacional y el transductor de realimentación, y una tensión de DC + 40 V necesaria para alimentar las bobinas de los relés de mando.

La señal de mando y la realimentación negativa se suman por medio del amplificador operacional Al, éste amplificador tiene además una ganancia de bucla cerrada ajustable por medio del potenciómetro P3, por consiguiente la señal de error sale del amplificador ya amplificada. Esta señal, dependiendo de su polaridad energiza uno de los dos relés de láminas (R11 6 R12) el cual energiza el correspondiente relé de control CR1 6 CR2 (retracción 6 extensión del impulsor) lo cual produce en definitiva un retroceso o una extensión del impulsor según sea el caso. Además, en cualquier caso, se energiza un tercer relé CR3 que es un relé temporizado y su acción se retrasa respecto a los anteriores de 20 a 50 mil/segundos gracias al condensador C1. Este tiempo es aprovechado para accionar un freno dinámico, lo cual aumenta la inercia disminuyendo entonces los sobrepasos largos de la posición deseada (error transitorio) (Figura 6)

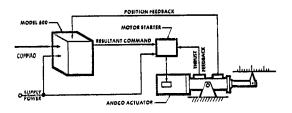


Fig. 6. - Sistema sobre el cual se va a actuar.

El actuador está provisto de un potenciómetro de realimentación el cual le informa al control el avance del impulsor. Por consiguiente, el controlador de procesos se encarga únicamente de calcular la nueva abertura del distribuidor (función de la frecuencia y la carga) y el control del actuador se encarga de establecer esta nueva posición.

Los potenciómetros P3, P4 y P7 son utilizados para fijar el márgen de error de estado estable, es decir, si se requiere un control fino de la frecuencia hay necesidad que el control del -actuador actúe para cualquier señal de error, ésto generalmente no sucede porque implica que el sistema está constantemente en regulación. Lo que se acostumbra es fijar un error mínimo, por encima o por debajo de dicho valor, el control debe actuar. Esta maniobra fija el valor del error de estado permanente y en nuestro caso se fijó en un 0.2% del error máximo.

3.2.5 El Transductor de Velocidad

Para la muestra de velocidad se desarrollaron dos tipos de captores, uno magnético y otro óptico y ambos son del tipo digital.

1) Captor Magnético

Comprende, como partes mecánicas móviles, una serie de imanes permanentes solidarios al árbol de la máquina (en general, estos imanes se fijan sobre un anillo de dos piezas que se cierra sobre el árbol de la máquina). La pieza mecánica es un interruptor de láminas (reed swicht) que se coloca de tal manera que los imanes pasan frente a él (figura 7 (a)). Cada vez que un imán pasa frente al interruptor, éste, por efecto del magnetismo, cierra su contacto. Si el anillo tiene n imanes, se producirán n cierres (y n aberturas) del contacto. Esta acción mecánica es aprovechada por un circuito electrónico que las convierte en una señal eléctrica cuya forma de onda se muestra en la figura 7 (c). En definitiva tenemos que el período de la onda cuadrada es una muestra de la velocidad del árbol de la turbina, es así como, si se tiene un sólo imán saldrá un pulso por cada vuelta, si tenemos n imanes se presentarán n pulsos por vuelta. Para efectuar el cálculo de la velocidad se podrá contar el núme ro de pulsos por segundo, pero este proceso es lento y se presentan errores, se optó por llevar estos pulsos a un elemento de memoria, que a su vez divide por dos (un flip-flop) y la muestra de velocidad se toma como la duración de una de las partes de la onde de salida del flip-flop (figura 7 (c)).

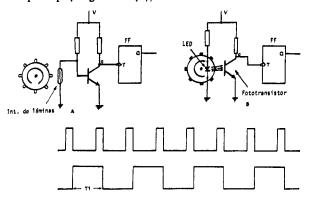


Fig. 7. - Detalle del Captor de Velocidad

$$\mathbf{w} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{T}_1$$

donde K es una constante de proporcionalidad fácilmente calculable al hacer una tabla de equivalencias entre W y T_1 .

Se encontró más fácil y confiable medir este tiempo y luego calcular la velocidad que contar el número de pulsos y calcular la velocidad.

2) Captor Optico

El principio de funcionamiento es el mismo que del magnético y lo que cambia es el captor en sí. En lugar de un anillo con imanes, lleva una rueda dentada y en lugar de un interruptor de láminas lleva un captor óptico formado por un LED (diodo emisor de luz) y un fototransistor. Cada vez que un diente de la rueda corta la luz que vá del diodo al transistor se produce un pulso, figura 7 (b). Las formas de onda de salida son iguales y también para evitar problemas por señales de ruido, se conectó además el flip-flop.

Se seleccionó el óptico debido a que el mecánico presente inercia y esta aumenta con el uso, por consiguiente es más confiable el óptico debido a su rango de frecuencia de trabajo.

3.2.6 El Controlador de Procesos

El controlador de procesos es un microcomputador dedicado al control de procesos y corresponde, en términos tecnológicos, a un sistema lógico programable. Su función es la de recoger la información de los dispositivos de adquisición de datos; y "calcula" la respuesta adecuada, la cual comunica a los dispositivos ó sistemas de salida o actuadores.

El "cálculo" de la respuesta deseada se hace en base a un programa grabado previamente en su memoria. Esta parte es la que se denomina de toma de decisiones.

La estructura total del sistema es la mostrada en la figura 8. En primer lugar encontramos el microcomputador el cual ejecuta el programa de regulación, que es el programa principal, y que se ejecuta constante. El diagrama de flujo de dicho programa se muestra en la figura 9. Este programa hace llamada a un subprograma denominado PID. El cálculo de la nueva posición del distribuidor se hace precisamente por medio del algoritmo PID.

3.3 <u>DESCRIPCION</u> <u>DEL SISTEMA DE REGU-</u> LACION

El operativo fija los valores de referencia de velocidad (usualmente la nominal) y la de potencia. En caso de marcha en vacio, la potencia

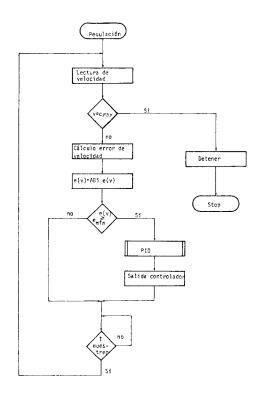


Fig. 9. - Organigrama de Regulación

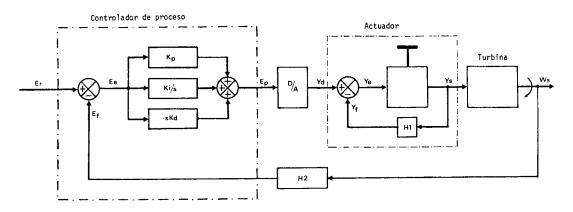


Fig. 8. - Diagrama de Bloques de la Instalación

de salida es un 10% de la nominal. El calculador de procesos mide la velocidad de la turbina gracias a la realimentación (Ef), proveniente del bloque H2, calcula el error de velocidad Ee, y, luego a través del algoritmo PID calcula la nueva posición del distribuidor, Ep. Esta información es digital y por lo tanto se necesita un con versor digital-análogo (D/A) para hacerla compa tible con el control del actuador. La señal de posición deseada, Y_d , se aplica al control del actuador y éste actúa en consecuencia produciendo una posición de salida Ys, en base a la información de la posición deseada y la posición actual del distribuidor, la cual es realimentada a través del bloque Hl. La nueva posición del distribuidor produce una nueva $\mathbf{W}_{\mathbf{S}}$ (si opera como turbogrupo aislado). Esta nueva velocidad Ws es realimentada al calculador de procesos vía al bloque H2 y el proceso se repite.

Es de notar que el calculador de procesos (al igual que un computador) no puede ejecutar que un solo programa a la vez, luego, para poder medir la velocidad y luego calcular la salida, el procesador debe ser interrumpido cada cierto tiempo, denominado tiempo de muestreo, para poder leer la velocidad y luego calcular el nuevo error de velocidad. Esto se hace por medio de una interrupción (programa de interrupción), el cual se solicita por un reloj, denominado reloj de tiempo real. Esta es la característica fundamental de control en tiempo real.

El tiempo de muestreo depende del tipo de proceso y de la duración del cálculo de la nueva posición, en nuestro caso se determinó en 100 mseg, tiempo por demás excelente para el caso de un tiempo tan lento de respuesta de un turbo grupo de 250 KVA que es del orden de 10 a 30 seg. Así mismo, este tiempo no puede ser muy pequeño para evitar el efecto del "golpe de ariete". Es decir, hay que evitar grandes señales de actuación.

3.4 <u>DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE REGU-LACION</u>

El programa de regulación comienza por leer el periférico de velocidad y por medio de las subrutinas aritméticas calcula el valor de la velocidad actual, una vez hecho ésto, entra a preguntar si la velocidad es mayor o igual a la velocidad máxima establecida, si la prueba es positiva deben sucederse todas las acciones pertinentes para cerrar la turbina hasta reducir la velocidad, como serían un cierre brusco del distribuidor y la consiguiente apertura del disyuntor para separar el grupo de la línea. Si la prueba es negativa, calcula el error de velocidad, Ee. Luego calcula el valor absoluto del error para entrar a preguntar si es mayor o igual al error mínimo, (el error de estado estable). Si es menor, no hay ajuste de la posición, si es mayor o igual, llama la subrutina PID y calcula la nueva posición del impulsor (del distribuidor) y saca esta nueva posición al periférico de salida (el conversor D/A)la cual es comunicada al control del actuador.

Una vez se produce la salida, el sistema entre en espera de la próxima señal del reloj, porque, como veremos adelante, el cálculo ejecutado por el algoritmo depende del tiempo de muestreo. Cuando se presenta la próxima señal, el programa se ejecuta una vez más, y así sucesivamente.

3.5 REGULACION DE SISTEMAS SIMPLES POR MICROPROCESADOR

El progreso técnico realizado en el campo de la microelectrónica (circuitos integrados LSI, VLSI, en particular) ha abierto nuevas y grandes posibilidades al ingeniero de sistemas.

Poco a poco, esta nueva tecnología ha venido adentrándose en campos reservados exclusivamente a la tecnología analógica (filtros, sistemas de regulación, comunicaciones, etc.). Las ventajas son evidentes:

- Mejor fiabilidad
- Integración "física" en un pequeño volumen
- Fácil mantenimiento dado la modularidad de los sistemas.
- Flexibilidad
- Costo reducido a características iguales, etc.

La introducción de la técnica digital en un campo tradicionalmente reservado a los sistemas analógicos puede considerarse en cierta forma como una pequeña revolución de consecuencias no despreciables en el futuro tecnológico mundial.

La disponibilidad actual de circuitos LSI altamente eficientes (capacidad de almacenamiento y tratamiento de la información) permite la realización de sistemas complejos no imaginables hace apenas 5 años. Pero los problemas que aparecen y que deben resolverse de una manera sistemática para evitar ciertos errores que pueden tener consecuencias graves en la utilización de la microelectrónica.

Además, se agrega el hecho que toda nueva tecnología es extremadamente dinámica, las novedades se suceden a un ritmo cada vez mayor.

Esta segunda parte presenta un ejemplo del tratamiento de una regulación por microprocesador

La regulación de la gran mayoría de los procesos simples se lleva a cabo por un sistema de control tipo proporcional (p),

Proporcional - Integral (PI), Proporcional - Derivativo (PD) & Proporcional - Integral - Derivativo (DIP).

La elaboración de un sistema de control tipo PID adaptivo nos permitirá controlar cualquier proceso simple y solamente sería necesario adaptar los valores de las constantes para el proceso en cuestión, la regulación tipo PID es de fácil aplicación y los coeficientes deben escogerse cuidadosamente para lograr la estabilidad del sistema, veremos como se puede es-

tablecer una estructura discreta y así lograr que el microprocesador opere como un controlador tipo PID.

3.6 ALGORITMO DE REGULACION PID SIMPLE

El algoritmo de regulación PID simple es una herramienta de control de gran utilidad, dado que, al ser elaborado por un microprocesador, los coeficientes K_p , K_i , K_d pueden ajustarse a tal punto que no se hace estrictamente necesario conocer la estructura detallada del proceso a controlar. Se puede, de una manera empírica, determinar el valor óptimo de las constantes K_p , K_i , K_d y del tiempo de muestreo T para obtener la respuesta deseada.

La estructura del sistema técnico comprenderá:

- Proceso... Máquina
- Interface... ADC/DAC, adaptadores de nivel, etc.
- Computador..... CPU, RAM, ROM, E/S, etc.
- Software..... Soporte matemático, algorit mos, atención de periféricos, etc.

La figura 10 propone una estructura simple para la realización de dicho sistema.

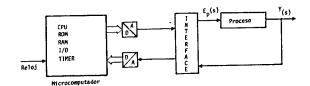


Fig. 10. - Sistema Microcomputador para el control.

3.7 <u>ECUACION IDEALIZADA DEL CONTRO-</u> <u>LADOR PID</u>

La ecuación del controlador de la figura 10 es:

$$E_{p}(t) = K_{p} E_{e}(t) + K_{i} \int E_{e}(t) dt + K_{d} \frac{dE_{e}(t)}{dt}$$
 (1)

donde

K Coeficiente de proporcionalidad

Ki Coeficiente de integración

Kd Coeficiente de derivación

E e Señal de error (diferencia entre el valor real y el valor de referencia).

E_ Señal correctora

Para un período de muestreo T pequeño, la ecuación anterior puede transferirse en una ecuación por incrementos, es decir, una discretización, así:

Componente diferencial diferencia de primer orden

Componente integral..... suma simple (método de Simpson)

Luego, para el sistema discreto, la ecuación (1) se transforma en:

$$E_{p}(K) = K_{p} E_{e}(K) + K_{i}T \sum_{i=1}^{n} E_{e}(i) + \frac{K_{d}}{T}$$

$$\left[E_{e}(K) - E_{e}(K-1)\right] \qquad (2)$$

donde K es el instante actual de muestreo y T el período de muestreo.

La ecuación (2) no es recursiva, es decir, para calcular la corrección $^{\rm E}_{\rm p}$ (K) es necesario conocer (tener en memoria) todos los $^{\rm E}_{\rm e(i)}$. Para la programación en un computador digital es preciso una forma recursiva, se debe pues, poder calcular $^{\rm E}_{\rm p}$ (K) a partir de $^{\rm E}_{\rm p}$ (K-1) y algunos términos de corrección.

La solución se plantea de la siguiente forma:

Sea
$$E_p(K) = K_p E_e(K) + K_i T \sum_{i=1}^{K} E_e(i) + \frac{K_d}{T}$$

$$\mathbb{E}_{\mathbf{e}}(\mathbf{K}) - \mathbb{E}_{\mathbf{e}}(\mathbf{K}-1)$$

$$E_{e}(K-1) = K_{p} E_{e}(K-1) + K_{i}T \sum_{i=1}^{K-1} E_{e}(i) + \frac{K_{d}}{T}$$

$$E_{e}(K-1) - E_{e}(K-2)$$

La variación de la señal actuante para el instante K es:

$$\begin{split} \mathbf{E}_{p}(\mathbf{K}) &= \mathbf{E}_{p}(\mathbf{K}) - \mathbf{E}_{p}(\mathbf{K}^{-1}) \\ \mathbf{E}_{p}(\mathbf{K}) &= \mathbf{K}_{p} \ \mathbf{E}_{e}(\mathbf{K}) + \mathbf{K}_{i}\mathbf{T} \quad \mathbf{E}_{e}(\mathbf{i}) + \frac{\mathbf{K}_{d}}{\mathbf{T}} \\ \mathbf{E}_{e}(\mathbf{K}) - \mathbf{E}_{e}(\mathbf{K}^{-1}) - \mathbf{K}_{p} \ \mathbf{E}_{e}(\mathbf{K}^{-1}) - \mathbf{K}_{i}\mathbf{T} \quad \mathbf{E}_{e}(\mathbf{i}) - \frac{\mathbf{K}_{d}}{\mathbf{T}} \\ &\frac{\mathbf{K}_{d}}{\mathbf{T}} \quad \left[\mathbf{E}_{e}(\mathbf{K}^{-1}) - \mathbf{E}_{e}(\mathbf{K}^{-2}) \right] \end{split}$$

pero

$$\sum_{i=1}^{n} E_{e}(i) = \sum_{i=1}^{n-1} E_{e}(i) + E_{e}(K)$$

$$E_{p}(K) = \left[E_{e}(K) K_{p} + K_{i}T + \frac{K}{T}\right] + E_{e}(K-1)$$

$$\left[-K_{p} - \frac{2K_{d}}{T}\right] + E_{e}(K-2) \frac{K}{T}$$
(3)

La ecuación (3) es recursiva, es decir,

 $E_n(K)$ se calcula en función de $E_n(K)$, $E_n(K-1)$,

E_e(K-2) y de las constantes y el período de muestreo.

Otra manera de escribir la ecuación (3)

$$E_p(K) = K_1 E_e(K) + K_2 (K-1) + K_3 E_e(K-2)$$
(4)

donde

$$K_1 = K_p + K_i T + \frac{K_d}{T}$$

$$K_e = K_p - \frac{2K_d}{T}$$

$$K_3 = \frac{K}{\frac{d}{T}}$$

Luego,

$$E_{p}(K) = E_{p}(K-1) + \Delta E_{p}(K)$$
 (5)

Que es la ecuación buscada.

3.8 **IMPLEMENTACION**

La ecuación para $E_p(K)$ puede resolverse por computador y por lo tanto la nueva señal de corrección Ep(K), la figura ll muestra el diagrama de un sistema digital para la regulación de un sistema simple (sistema de una sola entrada y una sola salida).

Los problemas a resolver para la implementación son:

- Interface ADC/DAC

Interruptor y Temporiza-- Reloj tiempo real

- E/S Leer los parámetros - Software

Soporte para operaciones matemáticas (punto flotan te), atención o periféricos.

- Programación del algoritmo

Limitaciones, desbordamiento.

- Tiempo de cálculo Lentitud

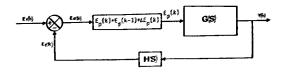


Fig. 11. - Diagrama de Bloques del Sistema Digitalizado

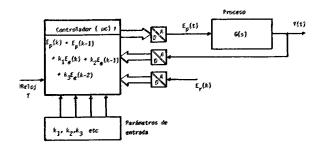


Fig. 12. - Estructura del Sistema de Control

REGULACION DE VELOCIDAD DE UNA TURBINA FRANCIS

La Figura 13 muestra un diagrama de bloques del sistema y se supone un control del tipo PID tal como se propuso en la primera parte.

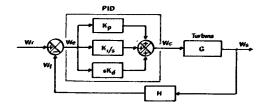


Fig. 13. - Diagrama de Bloques de la Instalación

Los problemas que deben resolverse para llevar a cabo la implementación de un sistema digital de control son:

- Señales del proceso, implica una interface entre el calculador y el proceso
- Reloj, reloj de tiempo real (RTC) e interrupciones.
- Posibilidad de carga de los parámetros del sistema de regulación, implica comunicación entre el calculador y el operador.
- Algoritmo de cálculo, se necesita de un software matemático para el cálculo.
- Constante de tiempo del proceso y del regula dor (problema de estabilidad, características del procesador (número de operaciones por segundo).
- Fiabilidad, indiferencia ante pequeños cambios en la tensión de alimentación del procesador.

Algoritmo PID simple

$$W_e(K) = W_c(K-1) + K_1 W_e(K) + K_2 W_e(K-1) + K_3$$

 $W_e(K-2)$

La figura 14 muestra de manera esquemática los diferentes problemas inherentes a las aplicaciones de los microprocesadores a la técnica de regulación.

po), el 8085 es el único microprocesador existente en el mercado que tiene integradas una entrada y una salida serie. Esto facilita grandemente la tarea de concepción simple del sistema desde el punto de vista de la explotación de periféricos de diálogo o de telecomando.

La figura 15 muestra un diagrama de bloques del sistema desarrollado,

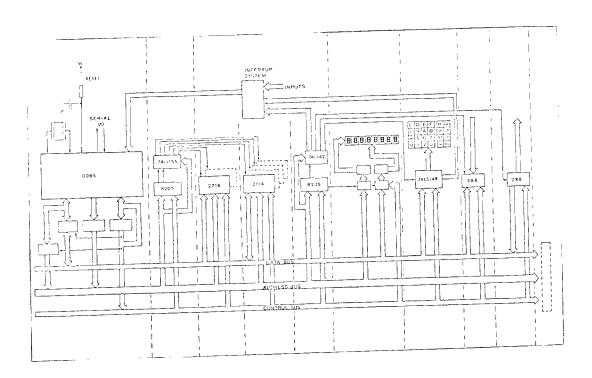


Fig. 15. - Sistema Utilizado para la Implentación

3.10 ESTRUCTURA DEL MATERIAL UTILIZA-DO

Para la implantación del proyecto se desarrolló un sistema microcomputador basado en el microprocesador 8085 del Intel.

Las razones de su escogencia son:

- El 8085 posee además de los niveles de interrupción comunes a caso todos los microprocesadores, tres niveles de interrupción - - "Hardware" integrados a nivel del procesador. Estas tres entradas permiten realizar un sistema de interrupción simple y la gestión de las interrupciones se reduce (a nivel del - "Software") a dos instrucciones, SIM (Set interrupt mask). El nivel 7.5 es el de mayor prioridad dentro de los 3 enmascarables (7.5, 6.5 y 5.5), y 5.5 es el de menor prioridad.

El nivel 4.5 (Trap) no es enmascarable, será utilizado para el caso de una parada de eme<u>r</u> gencia.

 La relativa facilidad para realizar una interface con un periférico de explotación (teleti-

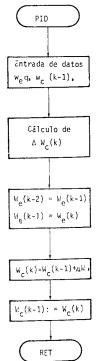


Fig. 14.- Algoritmo PID

Las características del diagrama de bloques del sistema desarrollado son:

-Procesador central

CPU 8085A, clock 2 MHz, T cy =500 n seg., ciclo de instrucción 1.5 #sec.

- Memoria

EPROM 2k bytes (expansible a 4k bytes) tipo 2716.
RAM 1k butes (expansible a 4k bytes) tipo 2 x 2114.

- Direccionamiento

EPROM 0000H a OFFFH RAM 1000H a IFFFH

- Entradas/salidas

Paralela, 40 líneas Serie, entrada SID, salida SOD Baud Rate automático, desde 110 a 9.600 Baud

- Interrupciones

5 niveles como periféricos de procesamiento se escogieron:

- Entradas/salidas binarias, CI 8212 de 8 bits (Intel).
- Entradas analógicas, CI AD7574 de 8 bits (Analog Devices).
- Salida analógica, CI AD558 de 8 bits (Analog Devices).

La figura 16 muestra un esquema del Microcomputador de proceso.

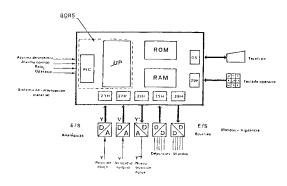


Fig. 16.- Estructura del Controlador de proceso

BIBLIOGRAFIA

- Mando y Regulación de una Turbina Pelton por microprocesador.
 - Iván E. Ramos, Lausanne, 1980
- Les Turbines Hydrauliques et leur regulation. L. Vivier, Albin Michel.
- Automatisation de Processus. H. Bueler, EPFL.
- Commande et regulation de Processus en temps Reel.
 - F. Huguenin, EPFZ.
- Stabilite de Reglage des installation Hydauliques.
 - L. Barel, Payot 1960
- Commande hierchisse et optimisation der processus complexes.
 - A. Titli, Dunot, París
- Revistas: -Revue Technique Sulzer
 -Boulletin Technique vevey
 -Revue Brown-Boyeri
- MCS 80/85 family user Manuel, Intel.
- Data catalogue 1979, Intel.
- Data Catalogue 1980, Analog Devices.
- Data Catalogue 1980, Texas Instruments.

AUTOR - IVAN RAMOS

Ingeniero Electricista graduado en la Universidad del Valle en 1975. Master en Informática Técnica de la Escuela Politécnica Federal de Lausanne (Suiza) 1980. Profesor de la Universidad del Valle desde 1976, en la especialidad Sistemas Digitales. Actualmente trabaja en el Control de Procesos con el fin de desarrollar un controlador de procesos con características industriales.