

EL MICROPROCESADOR COMO REGULADOR

Ing. Iván E. Ramos C.M.Sc.
Profesor Titular Departamento de Electricidad
Universidad del Valle

1. Resumen

El presente artículo aborda la temática de la regulación de procesos observables y controlables simples (una sola entrada y una sola salida), por medio de sistemas digitales programables. Se trata de una serie de artículos relacionados con la utilización de la tecnología digital para la realización de labores antes del dominio exclusivo de los sistemas analógicos.

La tecnología moderna de control digital se basa fundamentalmente en los sistemas discretos y también en la utilización de modelos para efectuar el control. Se trata del desarrollo de observadores y de sistemas de observación que permitan modelar para controlar un sistema que bien puede ser complejo. Sin embargo, antes de hablar de estos sistemas, es importante iniciar el recorrido por las primeras experiencias que se situaron en la discretización de la ecuación analógica y su validación con tiempos de muestreo reducidos. Es importante aclarar que no por tratarse de primeras experiencias su utilización sea obsoleta. En el desarrollo de una aplicación el ingeniero no podrá desechar ninguna solución dado que dependiendo de las características del sistema, una solución simple puede ser la más adecuada.

En este primer artículo se presenta la teoría relacionada con la discretización de un regulador tipo PID y su implementación utilizando un microprocesador genérico

como base para la presentación de una aplicación completa que será objeto de otro artículo donde además se evaluarán los resultados para más adelante compararlos con los obtenidos, utilizando las técnicas del control digital moderno.

2. Regulación

La regulación de la mayoría de los procesos simples se lleva a cabo por un controlador tipo Proporcional (P), Proporcional Integral (PI), Proporcional-Derivativo (PD) o Proporcional-Integral-Derivativo (PID).

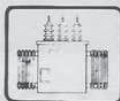
La elaboración de un controlador tipo PID adaptativo nos permitirá controlar cualquier proceso simple y solamente será necesario adaptar los valores de las constantes para el proceso en cuestión. La regulación de tipo PID es de fácil aplicación y los coeficientes deben ser escogidos cuidadosamente para lograr la estabilidad del sistema.

La Figura No. 1 muestra la estructura de un controlador tipo PID continuo; veremos como se puede establecer una estructura discreta y así lograr que el microprocesador opere como un controlador del tipo PID.

3. Algoritmo de regulación PID

El algoritmo de regulación PID simple es una herramienta de control de gran utilidad y al ser elaborado por un microprocesador, los coeficientes K_p , K_i , K_d pueden ajustarse 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

 **Transformadores
de Colombia Ltda.**



AFILIADOS A ICONTEC

Fabricante de transformadores monofásicos, trifásicos y de gran potencia. Refrigerados en aceite, Silicona o Aire Clase H. - Autotransformadores. Arrancadores - Transformadores para puesta a tierra y para fundiciones de arco. Servicios de: Mantenimientos, reparación y de emergencia. Prueba de cables.

Fábrica y Oficinas:
Carrera 11 No. 41-46
Apartado Aéreo 6521
CALI - COLOMBIA

TELEFONOS:
434371 - 485279 - 480976
Telefax: (923) 421533
Télex: 51360 Traco



ELECTRICOS ICEM DEL VALLE

**Materiales eléctricos industriales y
residenciales alta y baja tensión**

*Redes - Diseños - Montajes - Mantenimiento
Interventoría - Asesoría - Construcción de
bobinas para contactores y solenoides.*

***INGENIEROS CONTRATISTAS
ELECTRICOS Y MECANICOS**

Carrera 6a No. 20-20
Tels: 831970 - 809723 - Fax: 830116
Cali

constantes K_p , K_i , K_d y del tiempo de muestreo T para obtener la respuesta deseada.

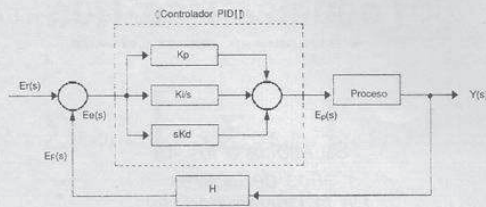


Figura No. 1. Controlador Tipo PID.

La estructura del sistema técnico, necesario para la implementación del controlador, comprende:

- El Proceso Máquina, Sistema químico,....
- La Interfase ADC/DAC, adaptadores de nivel,....
- El Computador CPU, RAM, ROM, E/S,....
- El Software Soporte matemático, algoritmos, atención de periféricos,....

La Figura No. 2 propone una estructura simplificada para la implementación de dicho sistema.

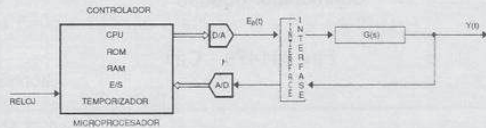


Figura No. 2. Sistema Digital de Regulación.

4. Ecuación idealizada del controlador PID.

La ecuación del controlador de la Figura No.1 es:

$$E_p(t) = K_p E_e(t) + K_i \int E_e(t) dt + K_d \frac{dE_e(t)}{dt} \quad [1]$$

donde

K_p Constante de Proporcionalidad

K_i Constante de Integración

K_d Constante de Derivación

E_e Error (diferencia entre el valor real y el valor de referencia)

E_p Señal Correctora

Para un período de muestreo T pequeño, la ecuación anterior puede transformarse 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:

$$E_p(k) = K_p E_e(k) + K_i T \sum_{i=1}^n E_e(i) + \frac{K_d}{T} [E_e(k) - E_e(k-1)] \quad (2)$$

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 $E_p(k)$ es necesario conocer (tener en memoria) todos los $E_e(i)$. Para la programación en un computador digital es preciso una ecuación de forma recursiva lo cual implica que se debe poder calcular $E_p(k)$ a partir de $E_p(k-1)$ y algunos términos de corrección.

La solución se plantea de la siguiente forma donde $E_p(k)$ es la señal correctora del instante k y $E_p(k-1)$ la del instante $k-1$, entonces:

$$E_p(k) = K_p E_e(k) + K_i T \sum_{i=1}^k E_e(i) + \frac{K_d}{T} [E_e(k) - E_e(k-1)]$$

$$E_p(k-1) = K_p E_e(k-1) + K_i T \sum_{i=1}^{k-1} E_e(i) + \frac{K_d}{T} [E_e(k-1) - E_e(k-2)]$$



INGENIERIA OROZCO CIA. LTDA.

MANTENIMIENTO ELECTRICO
ALQUILER DE EQUIPOS
Y HERRAMIENTAS

MONTAJES ELECTRICOS
SUMINISTRO DE PERSONAL

PROYECTOS Y ASESORIAS
DISEÑOS

OFICINAS Y TALLERES

Calle 31 No. 11G-59 A.A. 18529 Tel: 443892
CALI - VALLE

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

$$\Delta E_p(k) = E_p(k) - E_p(k-1)$$

Lo cual, teniendo en la cuenta que:

$$K_i T \sum_{i=i}^k E_e(i) = \left[K_i T \sum_{i=i}^{k-1} E_e(i) \right] + E_p(k)$$

es equivalente a: (Ecuación 3)

$$\Delta E_p(k) = E_e(k) \left[K_p + K_i T + K_d/T \right] = E_e(k-1) \left[-K_p - 2K_d \right] + E_e(k-2) \left[K_d/T \right]$$

La ecuación (3) es recursiva, es decir,

$\Delta E_p(k)$ se calcula en función de $E_e(k)$, $E_e(k-1)$, $E_e(k-2)$, de las constantes y el período de muestreo.

Otra manera de escribir la ecuación [3]

$$\Delta E_p(k) = K_1 E_e(k) + K_2 E_e(k-1) + K_3 E_e(k-2) \quad (4)$$

donde:

$$\begin{aligned} K_1 &= K_p + K_i T + K_d/T \\ K_2 &= -K_p - 2K_d/T \\ K_3 &= K_d/T \end{aligned}$$

Con base en lo anterior se puede expresar la señal correctora del instante k en función de su valor en el instante k-1 y de la variación es decir,

$$E_p(k) = E_p(k-1) + \Delta E_p(k) \quad [5]$$

que es la ecuación buscada.

5. Implementación

La ecuación para $\Delta E_p(k)$ puede resolverse por computador y por lo tanto se puede calcular la nueva señal de corrección $E_p(k)$. La Figura No. 3 muestra el diagrama de un sistema digital para la regulación de un sistema simple y que se comporte como un controlador del tipo PID.

Los problemas a resolver para la implementación son:

-La Interfase	ADC/DAC
-El Reloj	
Tiempo Real	Interrupción y temporizador
-Las E/S	Leer los parámetros
-El Software	Soporte para operaciones matemáticas (punto flotante), atención a periféricos
-La Programación del algoritmo	Limitaciones, desbordamiento
-El Tiempo de cálculo	Lentitud

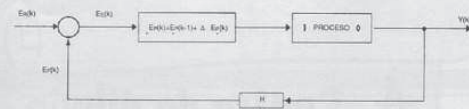


Figura No. 3. Controlador PID Digitalizado.

La Figura No. 4 muestra la estructura del sistema microprocesador que actúa como regulador tipo PID discreto.

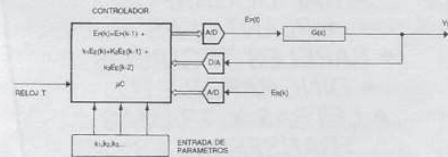


Figura No. 4. Sistema Controlador Discreto.

Dada la aplicación que tiene este algoritmo, es conveniente programarlo como un subprograma reentrante y para lograrlo se puede identificar el proceso que llama al subprograma por medio de un índice (i) y así poder identificar las posiciones de memoria donde se encuentran los valores de las constantes correspondientes a la tarea que llama al algoritmo. La Figura No. 5 presenta el diagrama de flujo correspondiente al llamado

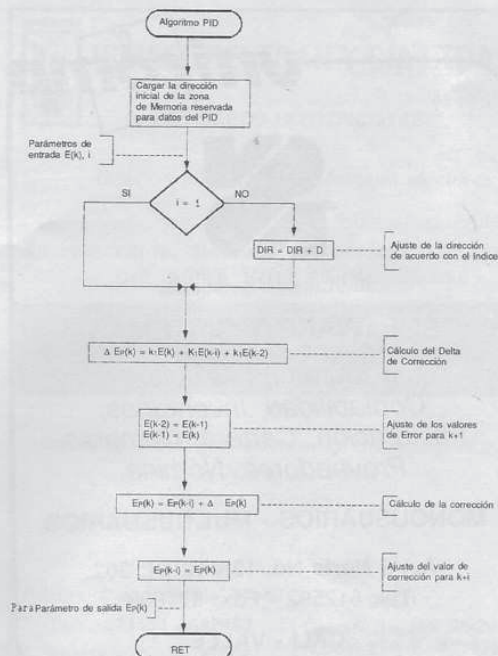


Figura No. 5. Uso del algoritmo PID como subprograma.

 **Centro de dibujo
Ltda.**

- MESAS DE DIBUJO
- RAPIDOGRAFOS
- PLANTILLAS
- PAPELES TECNICOS
- DINGRAFOS ETC.
- LETRAS Y TRAMAS TRANSFERIBLES
- TEMPERAS • COLORES
- AL OLEO • ACUARELAS
- PINCELES • PAPELES PARA ARTE • LIENZOS ETC.

Cra. 4a. 13-29 Local 141
Tel.: 805625 Edificio Santa Librada

con índice y la Figura No. 6 muestra como se puede afectar la zona de memoria de acuerdo con el valor del índice correspondiente.

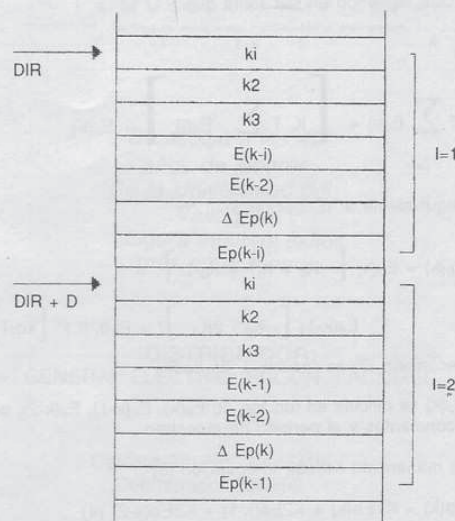


Figura No. 6. Manejo de la memoria de acuerdo con el índice.

6. Conclusiones

Tal como se manifestó al comienzo, la discretización de la ecuación analógica es la primera aproximación al control digital utilizando sistemas digitales programables. Su utilización depende mucho del tiempo de muestreo T que es el que en definitiva determina la validez de las discretizaciones.

En una implementación práctica se deben resolver los problemas planteados como los conversores y rutinas de cálculo como factores determinantes en la definición del periodo de muestreo. En un artículo siguiente abordaremos la solución a estos problemas y tomando un ejemplo práctico de aplicación de tal forma que podamos evaluar la aplicabilidad y validez del planteamiento en diferentes sistemas generalmente de alta inercia.

7. Bibliografía

- H. Bühler: "Cours d'Automation de Processus"; EPFL, Lausane (Suisse), 1980.
- F. Huguenin: "Commande et Regulation de Processus en Temps Reel"; EPFL, Lausanne (Suisse), 1980.
- D. Auslander, P. Sagues: "Microprocessor for Measurement and Control"; Osborne/McGraw-Hill, 1981.
- C. Foster: "Real Time Programming (Neglected Topics)"; Addison-Wesley, 1982.
- I. Ramos: "Control de Procesos por Computador"; Revista Sistemas (USB) No. 3, Segundo Semestre de 1987.
- K. Najim, G. Muratet: "Pratique de la Regulation Numérique des Processus Industriels"; Edición MASSON, Paris 1983.

 **unicomp**

 **NOVASOFT LTDA.**

SOFTWARE Y SISTEMAS

*Programas flexibles
Contabilidad, Inventarios,
Facturación, Cartera, Compras,
Proveedores, Nómina.*

MONOUSUARIOS - MULTIUSUARIOS

Av. 6 Norte No. 13N-42 Of: 302
Tel: 612592 - Fax: 671938
CALI - VALLE