Un Método Ingenieril de Identificación en Automatización

Dr. Anatoli MARKELOV, C. de Investigación en Automatización y Robótica, F.I.M.,U.T.P.

En la práctica ingenieril se usan diferentes métodos de identificación de los parámetros de plantas de control automático por no existir un método universal para estimar los valores de las características dinámicas de las plantas. Para describir las plantas sin oscilaciones tales como hornos de diferentes tipos, calentadores, termopares, motores DC de tracción en ciertos regímenes de funcionamiento etc. se usa la función de transferencia como el producto de las funciones de transferencia de los elementos aperiódicos, más, si es necesario, un elemento de retardo de transporte :

$$W_0(s) = \frac{k_0 e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)} \qquad (1)$$

o

$$W_0(s) = \frac{k_0 e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)^m (T_2 s + 1)} \qquad (2)$$

donde k_o es ganancia de la planta de control,

τ es tiempo de retardo,

T_i, $i = 1,3$ son constantes de tiempo de los elementos aperiódicos y la cantidad de los cuales no supera 3, m=2...3.

En caso de plantas oscilatorias tales como RLC circuitos, dispositivos de medición de ciertos tipos, plantas de control con un lazo de realimentación interno para estabilizar sus estados etc. se usa la función de transferencia en forma

$$W_0(s) = \frac{\omega^2 (T_1 s + 1)}{(T_2 s + 1)(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2)} \qquad (3)$$

donde T_1, T_2 son constantes de tiempo,

ζ, ω es alguna semejanza al factor de amortiguamiento y a la frecuencia natural de un sistema de segundo orden.

En la práctica, la determinación de los valores de los parámetros τ, T_i, ω, ζ, se hace a mano usando la gráfica de la respuesta de la planta a la entrada escalón. Hay algunos métodos de realización de este labor pero ellos no permiten obtener una alta precisión del cálculo de los parámetros buscados. El uso de los métodos numéricos clásicos de minimización tampoco permiten resolver al problema porque es imposible adivinar el punto inicial de búsqueda para llegar al mínimo global. Al obtener un mínimo es imposible probar que él mismo es el mínimo global. Es más, las plantas reales dichas no tienen tiempo muerto que significa un retardo de transporte, solo tienen inercia de cierto tipo (térmica, mecánica etc.), por eso el uso de las expresiones (1) y (2) para describir tales plantas no es absolutamente correcto. Esto es admisible en la práctica solamente para los sistemas de control no precisos. Por eso cuando aparece un problema de desarrollar un sistema de control de alta precisión de mencionadas plantas, siempre surge un gran problema de identificación de los parámetros de la planta real lo más preciso posible.

Aquí se propone un método numérico de determinación de los valores de los parámetros de dos funciones de transferencia que permita obtener el mínimo global en el espacio de n dimensiones de los parámetros de la planta sin oscilaciones y en el espacio de 4 dimensiones de los parámetros de la planta oscilatoria.

Para las plantas sin oscilaciones la función de transferencia propuesta cuyos parámetros hay que determinar es

$$W(s) = \frac{k_0}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\dots(T_n s + 1)} \qquad (4)$$

donde n puede ser cualquier número entero lo que permita aproximar a la curva de la respuesta de la planta real con una precisión necesaria. La expresión (4) describe una planta sin oscilaciones y retardo de transporte más correcto que (1) o (2), porque la expresión *exp(-Ts)* es una aproximación al producto de las funciones de transferencia iguales:

$$\lim_{n \to \infty} \frac{1}{(Ts/n + 1)^n} = e^{-Ts}$$

Para las plantas oscilatorias la función de transferencia se busca en forma (3). Ambas funciones (3) y (4) cubren la mayoría de los casos de identificación de los parámetros de plantas que se encuentran en la práctica industrial (aquí no tocamos tales plantas complejas especiales como reactores nucleares, naves espaciales etc. Por ejemplo, el reactor nuclear en su más simple descripción matemática teniendo en cuenta solo los neutrones de retardo exige una función de transferencia de séptimo grado).

El método propuesto se basa en el uso de la búsqueda aleatoria (Método Monte Carlo) para minimizar una función de n variables.

$$\min(\lambda \mid r(t) - r_0(t) \mid + (1 - \lambda) \mid \dot{r}(t) - \dot{r}_0(t) \mid) \qquad (5)$$

Eso es la única medida eficaz que pueda facilitar la ubicación del mínimo global en el espacio de muchas variables de una función multimodal. El criterio de optimización en este caso es siguiente:

donde $r_o(t)$ es respuesta de la planta al escalón,

$r(t)$ es respuesta del modelo,

λ es un coeficiente de ponderación,

$\dot{r}_o(t), \dot{r}_o(t)$ son las derivadas con respecto al tiempo de las funciones correspondientes.

El uso del criterio (5) en lugar del más famoso criterio de mínimo de error estándar garantiza la más precisa coincidencia de ambas funciones especialmente en la parte inicial del intervalo de aproximación, y especialmente esta parte inicial tiene más influencia a las propiedades dinámicas de la planta.

El problema de estimación de los parámetros para las expresiones (3) y (4) es mucho más difícil que el problema de minimización de una función de n variables. El último caso representa un problema clásico de minimización en el espacio de n dimensiones. En nuestro caso un conjunto de los parámetros buscados (T_1, ω, ζ) determina una ecuación diferencial cuya parte derecha es el escalón unitario. La solución a esta ecuación es una función en el dominio del tiempo que se llama repuesta de la planta. Esta respuesta debe ser estimada según el criterio (5), es decir, comparada con la respuesta real de la planta, entonces en el problema de identificación tenemos que realizar la minimización en un espacio de funciones que es el espacio de soluciones de ecuaciones diferenciales determinadas por conjuntos de parámetros buscados. En caso de las plantas de control con la función de transferencia (3) o (4) es posible obtener soluciones de las ecuaciones diferenciales en forma analítica, entonces para aquellas plantas no es necesario resolver las ecuaciones numéricamente. Pero en el caso general para las plantas más complejas hay que resolver las ecuaciones diferenciales correspondientes numéricamente en cada paso de estimación de los parámetros estimados.

Un ciclo de cálculo incluye los siguentes pasos :

1. Generación de un conjunto de los números aleatorios con la función de distribución lineal. Para plantas sin oscilaciones los márgenes de los valores admisibles están en los límites de $0.01t_{máx.}$ hasta $0.5t_{máx.}$, donde $t_{máx.}$ es tiempo de estacionamiento de la respuesta. Para plantas oscilatorias adicionalmente la estimación de los parámetros iniciales para la búsqueda es:

$$\zeta = \frac{\ln(\Delta_m)}{\sqrt{\pi + \ln^2(\Delta_m)}},$$

$$\omega = \frac{\pi}{t_m\sqrt{1-\zeta^2}},$$

donde Δ_m es sobrepaso máximo de la respuesta,

t_m es tiempo de alcance del primer máximo de la respuesta.

2. Cálculo de la respuesta de la planta con los valores de los parámetros obtenidos y su derivada.
3. Estimación según el criterio (5) de la exactitud de la aproximación con la respuesta obtenida.
4. En caso de haber obtenido el valor del criterio menor que fue obtenido anteriormente reemplazar los valores de los parámetros y el valor del criterio. En otro caso olvidar lo obtenido y pasar al primer paso.
5. Después de pasar todas las pruebas usar los valores obtenidos como los iniciales para continuar el proceso de optimización según un método regular de minimización en el espacio de n dimensiones, por ejemplo, usando el método de Seidel de descenso por coordenadas.

Los datos iniciales para realizar la identificación de una planta de control son siguientes:

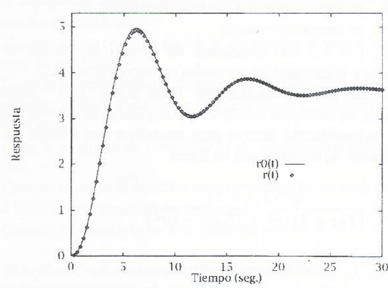
1. Array de magnitudes de la respuesta de la planta a la entrada del escalón unitario.
2. Tiempo de estacionamiento de la respuesta de la planta.
3. Cantidad de los elementos del modelo - el grado de la función de transferencia del modelo (sólo en caso de la planta sin oscilaciones).
4. Cantidad de las pruebas de Monte Carlo.

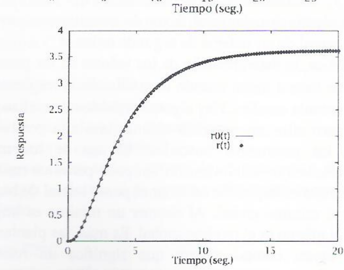
Los resultados del cálculo son siguientes :

1. Conjunto de los valores de las constantes de tiempo T en caso de una planta sin oscilaciones y los valores de los parámetros T_1, T_2, ζ, ω en caso de una planta oscilatoria.
2. Ganancia de la planta.
3. Error máximo de la aproximación de la respuesta de la planta con el modelo mejor obtenido durante el experimento de pruebas aleatorias y el proceso de minimización regular.

Durante los experimentos fueron obtenidos los siguientes resultados de identificación según el método propuesto para dos plantas de control : la planta sin oscilaciones : la cantidad de pruebas Monte Carlo - 80,000, la precisión relativa es igual a 1.383%, la planta oscilatoria : la cantidad de pruebas Monte Carlo - 160,000, la precisión relativa es igual a 1.747.

Los resultados presentados en el artículo muestran una alta eficiencia del método propuesto, pues la precisión de estimación de los parámetros por medio de los métodos convencionales no superan 5-10%. El programa para computadoras desarrollado en el Centro de Investigación en Automatización y Robótica para identificar los parámetros de plantas de control puede ser usado en la práctica ingenieril tal como en el proceso educativo en los centros de enseñanza superior para profundizar los conocimientos de los estudiantes en el rama de control automático.





Referencias

1. Kuo, Benjamin C.; Sistemas automáticos de control; Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., México, 1991.
2. Ogata, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna; Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México,1980.