УДК 66-9

КУБРАК А. І., к.т.н., проф.; СИТНІКОВ О. В., ас.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТА ПІД ЧАС НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Розглянуто процес ідентифікації систем автоматичного керування з типовим регулятором. Розраховано коефіцієнти ряду Маклорена, в якій розкладено нормовану передатну функцію.
***Ключові слова:** екструзія, система керування, режим пуску.*

Постановка задачі. Ідентифікація об'єкта в системі автоматичного керування технологічними процесами є можливою лише на базі існуючого обладнання та систем. Експериментувати з окремим об'єктом неприпустимо, а з системою – дорого й довго. Проте деяку мінімальну кількість експериментів із системою налагоджувальники зобов'язані провести, щоб гарантувати стійкість системи. Під час таких експериментів має бути отримана перехідна характеристика системи для каналу «завдання регулятора – вихід».

Зазвичай, типовий регулятор реалізує ПІД-закон із передатною функцією $W_{\text{р}}(p) = k_r\left[1 + 1/(T_i p) + T_v p\right]$. Оптимізація системи за трьома параметрами (k_r, T_i, T_d), як зазначено вище, є неможливою. Вийти в область, наближену до оптимальної, можна шляхом комп'ютерного моделювання системи, але для цього треба мати адекватну модель об'єкта керування.

Мета статті – визначення коефіцієнтів ряду Маклорена нормованої передатної функції, що дозволить розрахувати параметри об'єкта автоматичної системи під час її налагодження.

Виклад основного матеріалу. У дослідженнях реалізуємо ПІ-закон $W_{\text{р}}(p) = k_r\left[1 + 1/(T_i p)\right]$. *Д*-складову блокуємо (T_d = 0), k_r і T_i – фіксуємо: вони мають гарантувати стійкість системи. Наявність *І*-складової гарантує відсутність статичної похибки регулювання. Перехідну характеристику системи фіксуємо у вигляді масиву $h_s = h(t)\big|_{t=sDt},\ 0 \le s \le L,\ L \le 600$, де $Dt = D/L$ – крок за часом між сусідніми елементами, D – час спостереження перехідної характеристики (достатній для виходу на новий усталений рівень).

Для розглянутого каналу ПІ-регулятор має забезпечити $h(t)\big|_{t>D} = 1 \pm \varepsilon$, де $\varepsilon \to 0$. Таким чином, перехідна характеристика системи буде нормованою.

Формуємо масив коефіцієнтів ряду Маклорена передатної функції замкненої системи [1]:

$$W_{x\to y}(p) = 1 + e_1 p + e_2 p^2 + \ldots + e_N p^N + \ldots$$

Передатна функція $W_{x\to y}(p) = \dfrac{W_{\text{рс}}(p)}{1 + W_{\text{рс}}(p)} = E(p)$, де $W_{\text{рс}}(p) = W_{\text{рег}}(p) W_{\text{об}}(p)$, отже $W_{\text{рс}}(p) = \dfrac{E(p)}{1 - E(p)}$.

Враховуючи передатну функцію, $W_{\text{об}}(p) = \dfrac{E(p)}{1 - E(p)} \dfrac{T_i p}{k_r(1 + T_i p)}$, або $W_{\text{об}}(p) = k_{\text{об}} \dfrac{E(p)}{F(p)(1 + T_i p)}$, де $k_{\text{об}} = T_i / k_r e_1$, $F(p) = 1 + f_1 p + f_2 p^2 + f_3 p^3$.

Отримаємо новий ряд $G(p) = 1 + g_1 p + g_2 p^2 + g_3 p^3 + \ldots$, де $g_s = f_s + T_i f_{s-1}$. Тоді нормована передатна функція

$$W_{\text{об}}^{\text{н}}(p) = \frac{1 + e_1 p + e_2 p^2 + e_3 p^3 + \ldots}{1 + g_1 p + g_2 p^2 + g_3 p^3 + \ldots}.$$

Розкладаємо її в ряд Маклорена: $\dfrac{1 + e_1 p + e_2 p^2 + e_3 p^3 + \ldots}{1 + g_1 p + g_2 p^2 + g_3 p^3 + \ldots} = 1 + r_1 p + r_2 p^2 + r_3 p^3 + \ldots$, множимо праву і ліву частини на $G(p)$, розкриваємо дужки й прирівнюємо коефіцієнти з однаковим степенем p: $r_1 + r_0 g_1 = e_1$, $r_2 + (r_0 g_2 + r_1 g_1) = e_2$, $r_3 + (r_0 g_3 + r_1 g_2 + r_2 g_1) = e_3$, де r_0 = 1. Розглядаючи ці співвідношення як систему рівнянь, розв'язуємо її послідовно відносно r.

Після узагальнення:

$$r_z = \begin{cases} 1, & \text{коли } z = 0, \\ e_z - \sum\limits_{s=0}^{z-1} r_s g_{z-s}, & \text{коли } z = 1, 2, 3, \ldots \end{cases}$$

У подальшому з рядом $R(p)$ можна працювати за загальною схемою ідентифікації [2, 3].

Якщо нормованою передатною функцією є ланцюжок з однакових аперіодичних ланок із запізненням $W_{\text{об}}^{\text{н}*}(p) = e^{-p\tau} / (T_p + 1)^n$, то до ряду $R(p)$ прирівнюють розкладені в ряди $e^{-p\tau}$ і $(T_p + 1)^n$

$$\frac{1-\tau p+\frac{\tau^2}{2}p^2-\frac{\tau^3}{6}p^3+\ldots}{1+nTp+\frac{n(n-1)}{2}T^2p^2+\frac{n(n-1)(n-2)}{6}T^2p^3+\ldots}=1+r_1p+r_2p^2+r_3p^3+\ldots,$$

і, після перетворень: $r_1+nT=-\tau$, $r_2+r_1nT+\frac{n(n-1)}{2}T^2=\frac{\tau^2}{2}$, $r_3+r_2nT+r_1\frac{n(n-1)}{2}T^2+\frac{n(n-1)(n-2)}{6}T^3=-\frac{\tau^3}{6}$.

При цьому *n* може приймати лише цілі невід’ємні значення.

Розглядаючи ці співвідношення як систему рівнянь, розв’язуємо її послідовно. Результат позначаємо $\varepsilon_3=r_3+r_2nT+r_1\frac{n(n-1)}{2}T^2+\frac{n(n-1)(n-2)}{6}T^3+\frac{\tau^3}{6}$.

Варіюючи *n*, мінімізуємо $|\varepsilon_3|$. За цієї умови *n* і відповідні $T=\sqrt{\frac{2r_2-r_1^2}{n}}$ і $\tau=-r_1-nT$ вважаємо шуканими коефіцієнтами передатної функції $W_{\text{об}}^{\text{н}*}(p)$.

Якщо об’єкт не має самовирівнювання, варто взяти структуру $W_{\text{об}}^{\text{н}*}(p)=\frac{e^{-p\tau}}{(T_p+1)^n p}$, а замість ПІ-регулятора реалізувати П-закон $W_{\text{р}}(p)=\frac{e^{-p\tau}}{(T_p+1)^n p}=\frac{e^{-p\tau}}{(T_p+1)^n}\frac{k_r}{p}$. Тоді $W_{\text{рег}}^{*}(p)=\frac{k_r}{p}$, $W_{\text{об}}^{*}(p)=\frac{e^{-p\tau^*}}{(T_p^{\,*}+1)^n}$.

Передатна функція $W_{\text{об}}^{*}(p)=\frac{E(p)}{1-E(p)}\frac{p}{k_r}$, $W_{\text{об}}^{*}(p)=k_{\text{об}}\frac{E(p)}{F(p)}$, де $F(p)=1+f_1p+f_2p^2+f_3p^3+\ldots$, $k_{\text{об}}=-1/k_re_1$, $f_s=e_{s+1}/e_s$, $s\geq 0$, звідки $W_{\text{об}}^{\text{н}^*}(p)=\frac{1+e_1p+e_2p^2+e_3p^3+\ldots}{1+f_1p+f_2p^2+f_3p^3+\ldots}$.

Отже, $\frac{1+e_1p+e_2p^2+e_3p^3+\ldots}{1+f_1p+f_2p^2+f_3p^3+\ldots}=1+q_1p+q_2p^2+q_3p^3+\ldots$, звідки $q_1+q_of_1=e_1$, $q_2+(q_of_2+q_1f_1)=e_2$, $q_3+(q_of_3+q_1f_2+q_2f_1)=e_3$. Розглядаючи ці співвідношення як систему рівнянь, розв’язуємо її послідовно відносно *q*.

Після узагальнення:

$$q_z=\begin{cases}1, & \text{коли } z=0,\\ e_z-\sum_{s=0}^{z-1}q_sf_{z-s}, & \text{коли } z=1,2,3,\ldots\end{cases}$$

Аналогічно $T^*=\sqrt{\frac{2q_2-q_1^2}{n}}$, $\tau^*=-q_1-nT^*$, а *n* визначається з умови $|\varepsilon_3^*|\rightarrow\min$, де

$$\varepsilon_3^*=q_3+q_2nT^*+q_1\frac{n(n-1)}{2}T^{*2}+\frac{n(n-1)(n-2)}{6}T^{*3}+\frac{\tau^{*3}}{6}.$$

Висновок. Одержано коефіцієнти ряду, в який розкладено нормовану передатну функцію, що дозволить розраховувати параметри об’єкта автоматичної системи під час її налагодження.

Список використаної літератури

1. *Симою М. П.* Определение передаточных функций по временным характеристикам линеаризированных систем / М. П. Симою. – М. : Приборостроение, 1958.
2. *Кубрак А. І.* Комп’ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем / А. І. Кубрак, А. І. Жученко, М. З. Кваско. – К. : Політехника, 2004. – 424 с.

Кубрак А. І. Ідентифікація динамічних характеристик елементів систем керування / А. І. Кубрак. – К. : ІСДО, 1995. – 208 с.