УДК 621.317.3(0.75.8)

ДИНАМІЧНІ ПОХИБКИ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ

Журавель О.В., магістрант; Курінний Е.Г., проф., д.т.н.
(Донецький національний технічний університет, Україна)

У системах автоматизації технологічних об'єктів для контролю параметрів режиму використовуються первинні перетворювачі (ПП). Кожен ПП являють собою динамічну систему, лінійну у робочому діапазоні. Тому процес $\tilde{y}(t)$ на виході ПП відрізняється від фактичного $y(t)$. Динамічна похибка залежить як от параметрів ПП, так і виду процесу, що реєструється. Метою роботи є оцінка похибок і їх корекція.

ПП моделюється ланкою другого порядку зі сталими часу T_1 і T_2 або першого порядку зі сталою часу T. В останньому випадку можна використовувати усі результати для ланки другого порядку, положивши в них $T_1 = T$ і $T_2 = 0$.

Процеси в ПП описуються диференційним рівнянням

$$T_2^2 \tilde{y}'' + T_1 \tilde{y} + \tilde{y} = y. \tag{1}$$

Амплітудна і фазова частотні функції (АЧФ і ФЧФ) мають вигляд [1]:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1-\omega^2 T_2^2)^2 + \omega^2 T_1^2}}, \qquad \varphi(\omega) = -\text{arctg}\frac{\omega T_1}{1-\omega^2 T_2^2},$$

де ω – кутова частота.

Різницю у процесах наочно видно на прикладі, коли вимірюється одинична функція, а $T_1 < 2T_2$. Позначивши через $\lambda = T_1 / 2T_2^2$, $\beta = \sqrt{4T_2^2 - T_1^2} / 2T_2^2$, $\varphi_0 = \text{arctg}(\beta/\alpha)$, отримаємо процес

$$\tilde{y}(t) = 1 - \frac{1}{\beta T_2}\exp\{-\lambda t\}\sin(\beta t + \varphi_0), \tag{2}$$

який не тільки відрізняється від одиниці, але має і коливальну складову.

Якщо процес є періодичним, то він представляється у вигляді ряду Фур'є. Нехай гармоніка порядку n з основною кутовою частотою ω_1 має амплітуду c_n і фазу φ_n. Параметри гармоніки, які розраховані по процесу $\tilde{y}(t)$, будуть іншими:

$$\tilde{c}_n = c_n A(\omega_n), \qquad \tilde{\varphi}_n = \varphi_n + \varphi(\omega_n),$$

де $\omega_n = n\omega_1$.

Оскільки при $\omega = 0$ АЧФ дорівнює одиниці, а ФЧФ – нулю, то середнє значення $y_\text{с}$ (постійна складова c_0) визначається без похибки. Важливою характеристикою є дисперсія D_y, яка оцінює квадрати відхилень від середнього значення. Для процесу $\tilde{y}(t)$ дисперсія $\tilde{D}_y$ відрізняється від D_y. Відносна похибка

$$\delta_D = \tilde{D}_y / D_y - 1. \qquad (3)$$

Для періодичного процесу

$$D_y = \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty} c_n^2, \qquad \tilde{D}_y = \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty} \tilde{c}_n^2 = \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty} c_n^2[1 - 1/A^2(\omega_n)].$$

Неперіодичний процес описується спектральною щільністю $S(\omega)$ у діапазоні частот ω от 0 до нескінченності. Спектральна ж щільність процесу $\tilde{y}(t)$ становить [2]:

$$\tilde{S}(\omega) = S(\omega)A^2(\omega).$$

Інтегрування цієї щільності дає дисперсію

$$\tilde{D}_y = \int_0^{\infty} S(\omega)A^2(\omega)d\omega.$$

Наприклад, для випадкового процесу зі щільністю

$$S(\omega) = \frac{2\alpha Dy}{\pi(\alpha^2 + \omega^2)},$$

яка має параметр α, інтегрування дає

$$\tilde{D}_y = D_y \frac{\alpha(1 + \alpha^2 T^2)T_2^2 + T_1}{T_1[(1 + \alpha^2 T^2)^2 - \alpha^2 T_1^2]}.$$

Підставивши цей вираз у (3), отримаємо

$$\delta_D = \frac{\alpha T_2^2(1 - 2\alpha T_1) + \alpha^2(\alpha T_2^4 - T_1^3) - T_1}{T_1[(1 + \alpha^2 T_2^2)^2 - \alpha^2 T_1^2]}.$$

Як видно, відносна похибка не залежить від дисперсії процесу, а визначається через параметр α і сталі часу ПП.

На рис. 1 наведені залежності похибок дисперсій $\delta_{D1}(\alpha)$ для сталих часу $T_1 = 0{,}1$ с і $T_2 = 0{,}2$ с та $\delta_{D2}(\alpha)$ для сталих часу $T_1 = 0{,}3$ с і $T_2 = 0{,}2$ с.

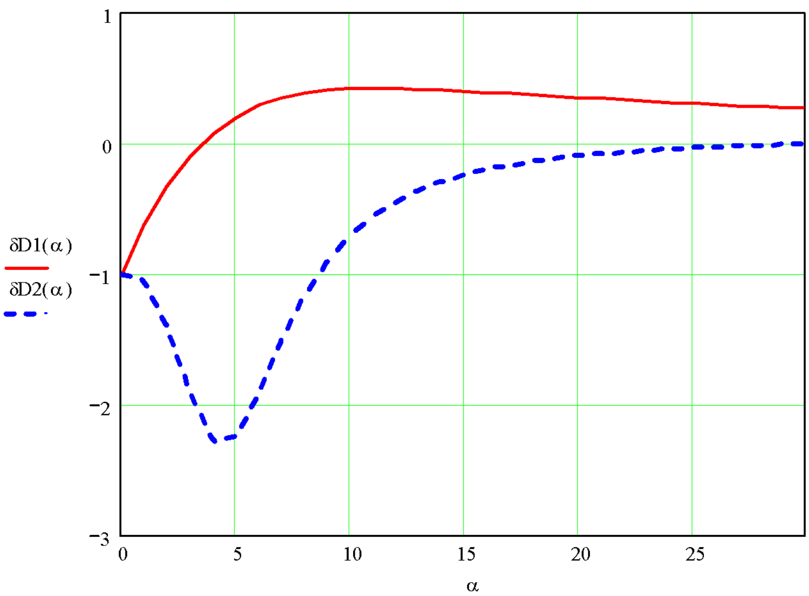

Рисунок 1 Залежності похибок дисперсій від α.

Перейдемо до методів корегування динамічної похибки. Відомим тут є процес $\tilde{y}(t)$, по якому треба відбудувати фактичний процес $y(t)$. Із (1) витікає, що для цього до процесу $\tilde{y}(t)$ треба додати два додатки: $T_2^2 y''(t)$ і $T_1 y'(t)$. Точність відбудови залежить від розрахунку похідних.

Реальні процеси $\tilde{y}(t)$ не мають розривів, тому у деяких випадках їх можна апроксимувати аналітичними виразами, що диференціюються. Тоді процес відбудовується без похибок. Наприклад, виконавши диференціювання процесу (2), при $\psi_t = \beta t + \varphi_0$ отримаємо доданки:

$$T_2^2 y''(t) = \frac{T_2}{\beta}\left[(\beta^2 - \lambda^2)\sin\psi_t + 2\lambda\beta\cos\psi_t\right]\exp\{-\lambda t\},$$

$$T_1 y'(t) = \frac{T_1}{\beta T_2}(\lambda\sin\psi_t + \beta\cos\psi_t)\exp\{-\lambda t\}.$$

Їх сума дає нуль при будь-яких моментах часу $t \geq 0_+$, тому маємо одне точне значення – одиницю.

Звичайно процеси $\tilde{y}(t)$ задаються у вигляді послідовності ординат з малим шагом дискретності часу. Використання комп'ютерних операторів диференціювання забезпечує достатню точність відбудови процесу $y(t)$.

Періодичний процес може буде відбудованим і по гармонікам:

$$y(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\tilde{c}_n}{A(\omega_n)} \sin\left[n\omega_1 t + \tilde{\varphi}_n - \varphi(\omega_n)\right].$$

У цьому випадку диференціювання не потрібно, але виникає відома проблема з визначенням амплітуд і фаз гармонік, а також кількості гармонік, які потрібно враховувати.

Таким чином, корекція динамічних похибок дозволяє значно зменшити вимоги до динамічних характеристик первинних перетворювачів параметрів режиму.

Перелік посилань

1. Теория автоматического управления / под ред. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1977, ч.1. – С. 303.

2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – С.576.