**УДК 621.396**
**А. Лупенко**

# ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ АПЕРІОДИЧНИХ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Розглянуто два пристрої оперативної оцінки параметрів аперіодичних динамічних об'єктів на основі методу функціонально-часового перетворення (ФЧП) перехідного процесу об'єкта. Показано, що абсолютна похибка визначення моменту рівності досліджуваного і опорного сигналів в методі ФЧП прямо пропорційна сумі похибок миттєвих значень порівнюваних сигналів і обернено пропорційна різниці похідних від цих сигналів. На прикладі ФЧП-перетворювача з попереднім інвертуванням експоненційного сигналу показана можливість мінімізації цієї похибки за рахунок відповідного вибору опорного сигналу.*

Динамічні об'єкти, що відповідають максимально спрощеній моделі, в багатьох випадках апроксимуються аперіодичною ланкою першого порядку. Реакція таких об'єктів на типову дію у вигляді δ-функції може бути описана виразом:

$$y(t) = A \cdot \exp(-t / \tau), \qquad (1)$$

де τ- стала часу - параметр, що характеризує динамічні властивості об'єкта.

Метою експрес-аналізу таких об'єктів є визначення їх параметрів за час, що не перевищує часу перехідного процесу в цих об'єктах. Для оперативної оцінки параметрів таких об'єктів використовують методи, що базуються на функціонально-часових перетвореннях (ФЧП) перехідного процесу. Для цих методів однією з основних операцій є порівняння досліджуваного процесу з постійним опорним рівнем. Ця операція супроводжується похибкою визначення моменту спрацювання пристроїв порівняння, аналіз якої для випадку аперіодичного перехідного процесу проведено в роботах [1,2]. В загальному випадку ФЧП як опорний рівень можна використати не постійну величину, а спеціальним чином сформований опорний сигнал. Оцінимо величину похибки методу ФЧП для загального випадку. Для оцінки похибки необхідно врахувати похибку відтворення самого процесу (похибки миттєвих значень), а також похибку опорного сигналу. В зв'зку з "розмитістю" порівнюваних сигналів за рахунок шумів та завад похибки миттєвих значень трансформуються в похибку визначення моменту рівності досліджуваного і опорного сигналів.

Враховуючи цю "розмитість", досліджуваний та опорний сигнали можна зобразити у вигляді двох смуг, що перетинаються під деяким кутом. Вважаючи сигнали неперервними в часі, їх можна замінити в зоні перетину прямолінійними смугами з кутовими коефіцієнтами, що дорівнюють похідним від цих сигналів у цій зоні (рис.1).

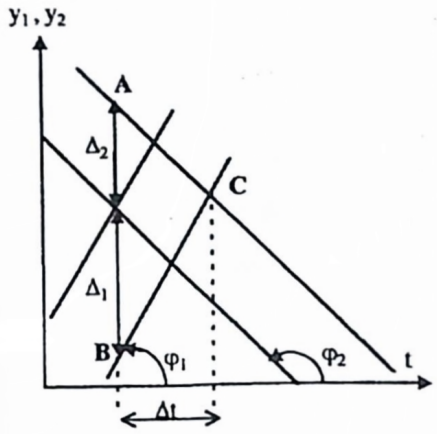



Рис. 1.

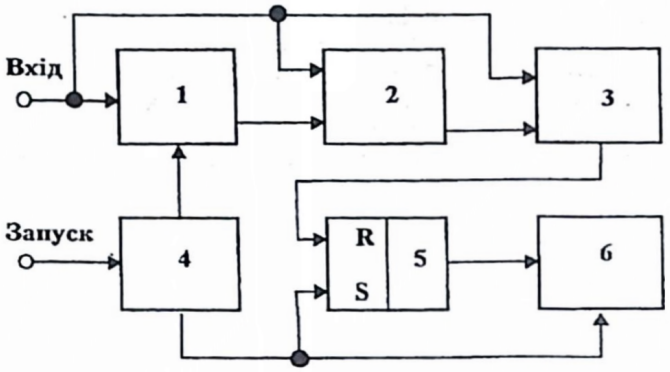



Рис. 2 .

Нехай кутові коефіцієнти двох "лінеаризованих" таким чином сигналів дорівнюють $\varphi_1$ і $\varphi_2$, а похибки їх миттєвих значень рівні $\Delta_1$ і $\Delta_2$. Тоді, очевидно, ці похибки трансформуються в часову похибку $\Delta t$ визначення моменту рівності процесів. Величина цієї похибки визначається з трикутника ABC:

$$\Delta t = BC\cos\varphi_2 \ . \tag{2}$$

Із розгляду трикутника ABC (рис.1) на основі теореми синусів можна скласти пропорцію:

$$\frac{\sin(\varphi_1 - \pi/2)}{BC} = \frac{\sin[(\pi - (\varphi_2 - \varphi_1)]}{AB}. \tag{3}$$

Тоді з (3), враховуючи, що $AB=\Delta_1+\Delta_2$, знайдемо похибку $\Delta t$:

$$\Delta t = (\Delta_1 + \Delta_2)\frac{\sin(\varphi_1 - \pi/2)}{\sin[\pi - (\varphi_2 - \varphi_1)]}\cos\varphi_2 = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{tg\varphi_2 - tg\varphi_1}. \tag{4}$$

Оскільки кутові коефіцієнти - це похідні від сигналів в зоні перетину, отримуємо вираз для трансформованої похибки визначення моменту рівності цих сигналів:

$$\Delta t = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{y_2' - y_1'}, \tag{5}$$

де $y_1'$ і $y_2'$ - похідні від досліджуваного і опорного сигналів $y_1$ і $y_2$, відповідно. Вираз, що отримано в роботі [2], є частковим випадком формули (5) при $\Delta_2=0$ і $y_2'=0$.

З (5) випливає, що у випадку, коли ці похідні матимуть протилежні знаки, похибка зменшується. Отже, для мінімізації цієї похибки необхідно як опорну величину використовувати не постійний рівень, а деяку функцію, яка в точці перетину з досліджуваним сигналом має протилежний знак похідної по відношенню до знаку похідної від процесу.

На основі цього аналізу розроблено пристрій ФЧП з попереднім інвертуванням аперіодичного процесу для оперативної оцінки параметрів динамічного об'єкта. Структурна схема пристрою зображена на рис.2. До його складу входять аналоговий запам'ятовуючий блок (АЗБ) 1, блок віднімання 2, компаратор 3, блок керування 4, тригер 5 і вимірювач часових

інтервалів (ВЧІ)6. У пристрої опорний сигнал $y_2$ формується з досліджуваного $y_1$ (1) у відповідності з виразом:

$$y_2 = A[1-\exp(-t/\tau)] . \qquad (6)$$

Для цього в момент часу t=0 під дією сигналу "Запуск" блок керування 4 фіксує в АЗБ1 значення $y_1(0)=A$, встановлює в "одиницю" тригер 5 і підготовляє до вимірювання ВЧІ 6.. Тому на виході блока віднімання 2 формується опорний сигнал (6). Ці два сигнали зрівнюються в момент часу $t_0$. Тоді сталу часу можна визначити з виразу:

$$\tau = \frac{t_0}{\ln 2} . \qquad (7)$$

Тривалість одиничного імпульсу тригера 5 дорівнює $t_0$. Вона вимірюється за допомогою ВЧІ 6 і є пропорційною до шуканої величини τ.

Для оцінки похибки визначення сталої часу з метою вибору параметрів схеми пристрою розглянемо два випадки співвідношень між досліджуваним і опорним сигналами (рис.3.) .

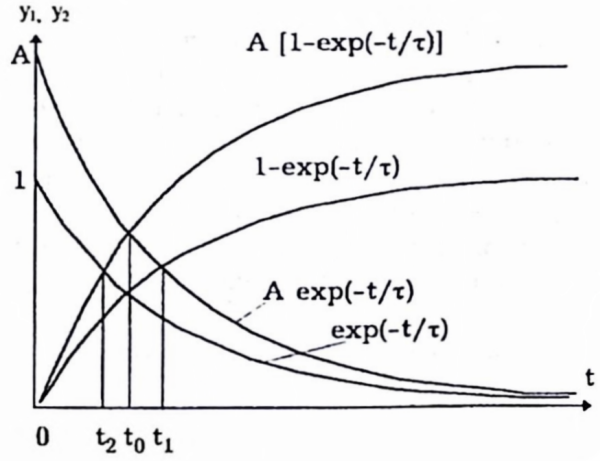



Рис. 3

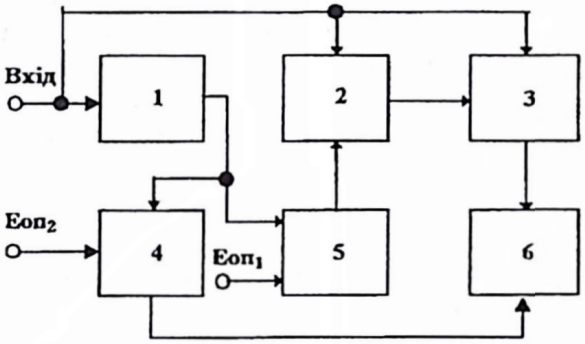



Рис. 4

1. Нехай експоненційні сигнали описуються виразами:

$$y_1 = A\exp(-t/\tau) , \quad y_2 = 1-\exp(-t/\tau) , \qquad (8)$$

де A>1. Прирівнявши $y_1$ і $y_2$ , знайдемо момент часу $t_1$ спрацювання компаратора:

$$t_1 = \tau \ln(A+1) . \qquad (9)$$

Визначивши похідні від (8) в момент часу $t_1$, з (5) знаходимо часову похибку, обумовлену похибками миттєвих значень:

$$\Delta t = \tau(\Delta_1 + \Delta_2) . \qquad (10)$$

Таким чином, відносна похибка моменту спрацювання компаратора дорівнює сумі похибок миттєвих значень порівнюваних сигналів.

2. Нехай експоненційні процеси описуються виразами:

$$y_1 = \exp(-t/\tau), \quad y_2 = A[1-\exp(-t/\tau)]. \tag{11}$$

Виконавши перетворення, як і для першого випадку, одержуємо вирази для. моменту спрацювання компаратора $t_2$ та його похибки $\Delta t$:

$$t_2 = \tau \ln[(A+1)/A]; \tag{12}$$

$$\Delta t = \frac{\tau(\Delta_1 + \Delta_2)}{A}. \tag{13}$$

Як видно з (10) і (13), в другому випадку похибка визначення моменту зрівняння процесів в А разів менша, ніж в першому. Крім того, з (9) і (12) випливає, що $t_2 < t_1$, тобто в другому випадку можна забезпечити вищу швидкодію.

Даний пристрій є простішим в реалізації від [1]. Крім того, відносна похибка визначення моменту спрацювання пристрою порівняння є меншою ніж в [1,2], як випливає з (5), і не залежить від сталої часу перехідного процесу.

Для зменшення впливу вищевказаної "розмитості" досліджуваного процесу на похибку оцінки його параметрів можна скористатися згладжуючою властивістю операції інтегрування. Розглянемо метод функціонально-часового перетворення з попереднім інтегруванням сигналу на прикладі пристрою для оцінки коефіцієнта затухання $\alpha = 1/\tau$, структурна схема якого наведена на рис.4. До складу пристрою входять інтегратор 1, аналоговий запам'ятовуючий пристрій 2, блок віднімання 3, компаратори 4 і 5 та реєстратор 6. На компаратори 4 і 5 подано опорні напруги $E_{оп1}$ і $E_{оп2}$, причому $E_{оп1} < E_{оп2}$ .

Досліджуваний процес (1) подається на інтегратор 1 і на його виході формується зростаюча напруга:

$$\int_0^t y(t)dt = \frac{1}{\alpha}\cdot[A - y(t)]. \tag{14}$$

Для моментів часу $t_1$ і $t_2$ досягнення цією напругою опорних рівнів $E_{оп1}$ і $E_{оп2}$ можна записати:

$$\int_0^{t_1} y(t)dt - \int_0^{t_2} y(t)dt = E_1 - E_2 = \frac{1}{\alpha}\cdot[y(t_2) - y(t_1)]. \tag{15}$$

Звідси витікає вираз для коефіцієнта затухання:

$$\alpha = \frac{y(t_2) - y(t_1)}{E_{оп1} - E_{оп2}}. \tag{16}$$

В момент часу $t_1$ компаратор 5 ініціює запис значення $y(t_1)$ в АЗБ 2. Тому в момент часу $t_2$ вихідний сигнал блоку віднімання 3 буде дорівнювати $\alpha$ з точністю до коефіцієнта $K = 1/(E_1 - E_2)$. Значення цього коефіцієнта вибирається в залежності від діапазону зміни величини $\alpha$. В момент часу $t_2$

спрацьовує компаратор 4 і в реєстраторі 6 фіксується величина коефіцієнта затухання $\alpha$.

Розглянуті функціонально-часові перетворення аперіодичних процесів та пристрої на їх основі забезпечують підвищення достовірності оперативної оцінки параметрів динамічних об'єктів, що задовільняють моделі виду (1) та простоту їх реалізації. Завдяки цьому вони можуть знайти застосування у системах технічного контролю, діагностування та автоматичного регулювання.

*Summary. This paper describes two function time transforms for operative determination of parameters of dynamic objects of the first order. The possibilities of error minimization in time-constant measurements by means of proper choice of reference signals are considered here.*

**Література**

1. Rusek A. Error minimization in time-constant measurements.// IEEE Trans. Instrum. and Meas..-1987, 36, N1.-P.29-31.
2. Соколов С.Е. Погрешность определения временных интервалов тканевого клиренса.// В сб. Радиоэлектронная медицинская аппаратура. Научн. труды ВНИИМП.-М.-1986.-С.100-103.