

УДК 531.717

В.Т.Михалевич, А.Ю.Решетило, І.В.Дем'янова

Луцький національний технічний університет

ДИНАМІЧНІ ПОХИБКИ В СИСТЕМАХ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розглядаються похибки систем активного контролю, у яких використовуються два вимірювальних перетворювачі з наступним додаванням сигналів, приводяться математичні моделі похибок та схема їх експериментального визначення у виробничих умовах.

Ключові слова: активний контроль, динамічна похибка, налагодження.

Вступ

Для діаметральних вимірювань у системах активного контролю розмірів деталей на операціях шліфування широко використовуються двохконтактні первинні вимірювальні перетворювачі. Безсумнівна перевага за рядом експлуатаційних характеристик над системами підналагодження та одноконтактними перетворювачами, а саме: безперервний контроль поточного розміру, прями вимірювання діаметра, а не радіусу, ігнорування впливу ряду зовнішніх чинників, що спричиняють похибки вимірювання, значне зниження впливу вібрацій на точність вимірювання, надають значні переваги у їх використанні [1].

Такі прилади можна розділити на прилади з однією двохконтактною вимірювальною головкою, у якій немає необхідності у додаванні сигналів, оскільки давач розміру один, та на прилади з двома одноконтактними вимірювальними головками, кожна з яких має свій давач, сигнали яких додаються.

Прилади з двома вимірювальними головками отримали широке використання оскільки мають порівняно просту конструкцію самих головок, дозволяють контролювати деталі у великому діапазоні розмірів та легко переходити від контролю розмірів внутрішніх поверхонь до контролю зовнішніх [2]. Але у цих приладів можуть виникнути похибки, які можна назвати динамічною похибкою додавання сигналів.

У випадку додавання сигналів з двома роздільними давачами у випадку вібрації деталі відносно приладу на виході давачів виникають однакові, але протилежні за знаком сигнали y_1 та y_2 . Додавання цих сигналів повинні привести до результату

$$y_1 - y_2 = 0, \quad (1)$$

Що і виконується у процесі статистичного налагодження приладів. У динаміці рівняння (1) може порушуватись, в результаті чого виникає динамічна похибка додавання:

$$\Delta y(t) = y_1(t) - y_2(t). \quad (2)$$

У загальному випадку динамічну похибку додавання можна розглядати, скориставшись методом теорії автоматичного регулювання [2]. На рис.1 подана схема приладу активного контролю з додаванням сигналів від двох давачів.

Сигнали розміру деталі 1 $X_1(p)$ та $X_2(p)$ (операторне зображення за Лапасом) діє на давачі 2 і 3, наділені функціями $W_1(p)$ та $W_2(p)$. З виходу давачів перетворені сигнали, які поступають у суматор 4:

$$Y_1(p) = W_1(p)X_1(p),$$

$$Y_2(p) = W_2(p)X_2(p).$$

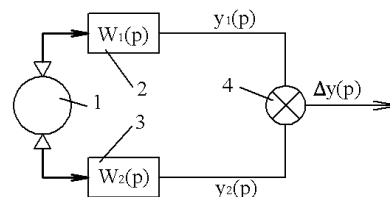


Рис.1. Структурна схема приладу з додаванням сигналів

Оскільки під час вібрації деталі, без відриву вимірювальних наконечників від деталі, $x_1 = x_2 = x$, то охибка додавання згідно з рівнянням (2) буде рівна:

$$\Delta Y(p) = [W_1(p) - W_2(p)]X(p) \quad (3)$$

Вираз (3) показує, що динамічна похибка додавання залежить від різниці передатних функцій ланок, що задіяні у додаванні сигналів. Досить поширена схема додавання, виконана на двох аперіодичних ланках, приведена на рис.2,а.

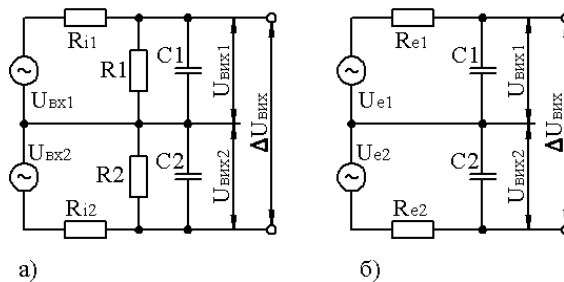


Рис.2. Схеми додавання сигналів

У цій схемі елементи R_{11} і R_{12} – внутрішній опір джерел сигналу; $R1$ і $R2$ – резистори на яких виконується додавання; $C1$ і $C2$ – елементи фільтра згладжування.

Використавши поняття про еквівалентний генератор, схему можна перетворити в еквівалентну (рис.2,б), у якій

$$U_{e1} = U_{ax1} \frac{R1}{R_{i1} + R1}; \quad U_{e2} = U_{ax2} \frac{R2}{R2 + R_{i2}};$$

$$R_{e1} = \frac{R_{i1}R1}{R_{i1} + R1}; \quad R_{e2} = \frac{R2R_{i2}}{R2 + R_{i2}}.$$

Кола, що складаються з R_{e1} , $C1$ та R_{e2} , $C2$ утворюють аперіодичні ланки, передатні функції яких відповідно рівні:

$$W_1(p) = \frac{\kappa_1}{p + T_1 p}, \quad (4)$$

$$W_2(p) = \frac{\kappa_2}{p + T_2 p}, \quad (5)$$

де $T_1 = R_{e1}C1$ і $T_2 = R_{e2}C2$ – постійні часу; $\kappa_1 \frac{R1}{R_{i1} + R1}$ і $\kappa_2 \frac{R2}{R_{i2} + R2}$ – коефіцієнти передачі.

На основі рівняння (3), та враховуючи що $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa$ (канали статично узгоджені), динамічна похибка для даного випадку:

$$\Delta U_{вих}(p) = U_{ax}(p) \frac{\kappa p(T_2 - T_1)}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}. \quad (6)$$

Передатну функцію за похибкою можна отримати з рівняння (6):

$$W_0(p) = \frac{\kappa p(T_2 - T_1)}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}. \quad (7)$$

Частотну функцію за похибкою, яка виражає реакцію динамічної ланки на гармонічний вплив, можна отримати з формули (7) шляхом заміни оператора p на $j\omega$:

$$W_0(j\omega) = \frac{\kappa j\omega(T_2 - T_1)}{(1 + T_1 j\omega)(1 + T_2 j\omega)}. \quad (8)$$

Права частина рівняння (8) – комплексний вираз, у якому множенням чисельника та знаменника на число, комплексно спряжене знаменнику, можна виділити реальну та уявну частини та після цього визначити модуль вектора. Фаза у даному випадку інтересу не становить.

$$|W_0(j\omega)| = \frac{\kappa\omega(T_2 - T_1)}{\sqrt{(1 - T_1 T_2 \omega^2)^2 + \omega^2(T_1 + T_2)^2}}. \quad (9)$$

Модуль вектора $W_0(j\omega)$ є амплітудно-частотною характеристикою і показує залежність абсолютного значення динамічної похибки додавання від частоти вібрації для схеми з визначеними параметрами. На рис.3 графічно показана амплітудно-частотна характеристика для

різних значень постійної часу T_1 і T_2 та коефіцієнтів передачі κ_1 і κ_2 . Значення цих величин найбільше для кривої 1 і найменше – для кривої 3.

Найнебезпечнішим випадком вібрацій з огляду похибок є стрибок – ступінчата дія. Якщо прийняти $U_{вх1} = U_{вх2} = U_{вх}$, за умови, що наконечники не відриваються від поверхні, а $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa$, динамічна похибка додавання:

$$\Delta U_{вих} = U_{вих1} - U_{вих2} = \kappa U_{ех} \left(e^{\frac{t}{T_2}} - e^{\frac{t}{T_1}} \right). \quad (10)$$

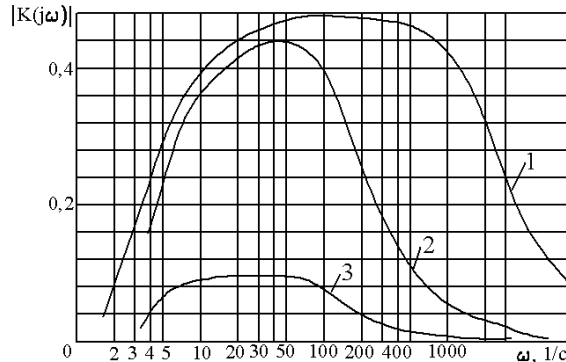


Рис.3. Амплітудно-частотна характеристика схеми додавання сигналів

Для знаходження максимального значення динамічної похибки додавання необхідно визначити час t_m , за який функція (10) досягне екстремуму.

$$\frac{d\Delta U_{вих}}{dt} = \kappa U_{ех} \frac{T_2 e^{\frac{t_m}{T_2}} - T_1 e^{\frac{t_m}{T_1}}}{T_1 T_2} = 0.$$

Відповідно, $T_2 e^{\frac{t_m}{T_2}} = T_1 e^{\frac{t_m}{T_1}}$.

Після логарифмування та перетворень:

$$t_m = \frac{T_1 T_2 \ln \frac{T_2}{T_1}}{T_2 - T_1}.$$

Якщо підставити значення t_m у (10), то максимальне значення динамічної похибки додавання:

$$\Delta U_{вих.m} = \kappa U_{ех} \left(e^{\frac{T_1 \ln \frac{T_2}{T_1}}{T_2 - T_1}} - e^{\frac{T_2 \ln \frac{T_2}{T_1}}{T_2 - T_1}} \right). \quad (11)$$

На рис.4 приведена залежність нормованої максимальної похибки від параметрів схеми:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U_{вих.m}}{\kappa U_{ех}} = e^{\frac{\ln m}{m-1}} - e^{\frac{m \ln m}{m-1}},$$

де $m = T_2 / T_1$.

Штриховими лініями на рис.4 показані зони можливих похибок для 10% ($\tau=1,49$) та для 20% ($\tau=2,26$) розкиді номінальних величин елементів схеми додавання.

Рішення (9), (10) та (11) показують, що величина динамічної похибки залежить від різниці постійних часу T_1 і T_2 . Відповідно, для зменшення динамічної похибки необхідно застосовувати точні елементи або виконувати їх підбір.

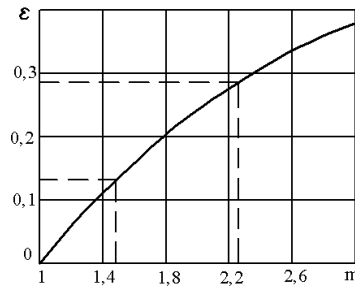


Рис.4. Залежність нормованої максимальної похибки від параметрів схеми додавання

Для визначення динамічної похибки в умовах, близьких до виробничих, використана шліфувальний верстат, на якому встановлено спеціальну оправку, що утримує зразкову овальну деталь або мірний конус, та шайбу, яку шліфують під час циклу контролю. На зразкову деталь встановлено вимірювальні наконечники. Під час перевірки зразок імітує зміну розміру деталі під час шліфування. В момент рівності сигналу вимірювання та встановленої опорної напруги, що поступає на пороговий пристрій, прилад видає команду, який припиняє обертання зразкової деталі.

Похибка видачі команди визначена за показами приладів, встановлених на зразковій деталі.

В основі методу визначення впливу окремих чинників, що супроводжують процес шліфування, на динамічну похибку систем активного контролю безпосередньо у цехових умовах, лежить імітація зміни сигналу розміру шляхом подачі у нуль-орган систему каліброваного лінійного сигналу. На другий вхід нуль-органу поступає сигнал з давача, і цей сигнал включає тільки інформацію про динамічну похибку. На рис.5 подано часову діаграму, що ілюструє принцип цього методу, а на рис. 6 – структурна схема пристрою, який реалізує цей метод.

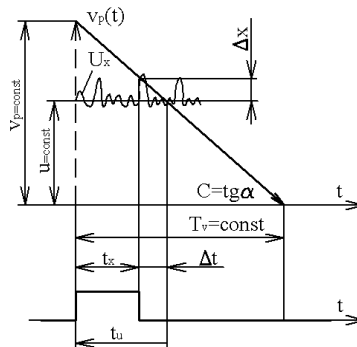


Рис.5. Часова діаграма

Вимірювальні наконечники 1 приладу 2, який перевіряється, встановлюються на раніше обробленій у реальних умовах поверхні 3 у близькості від поверхні оброблення 4 деталі 5. Під час оброблення на виході давача 6 появляється сигнал, створюваний тільки завадами (розмір не змінюється), викликаними дією збурюючих чинників у процесі шліфування. Після підсилення та перетворення у блоці 7 сигнал вимірювання U_x поступає на вхід нуль-органу 8. Під час включення у пристрої 9 схеми 10 генератор розгортуючого типу 11, що перетворює опорну напругу приладу у спадаючу лінійну напругу $U_p(t)$, яка поступає на другий вхід нуль-органу, де порівнюється з сигналом вимірювання U_x .

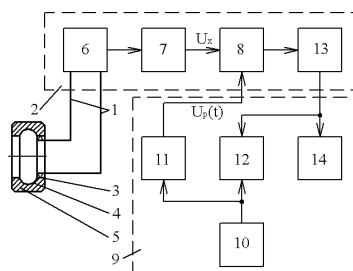


Рис.6. Структурна схема пристрою для перевірки динамічної точності систем активного контролю

Одночасно з генератором розгортання запускається пристрій часових інтервалів – секундомір 12.

В момент рівності $U_p(t) = U_x$ нуль-орган видає сигнал, який через релейний елемент 13 виключає пристрій часових інтервалів 12 і включає пристрій часових інтервалів 14, яке виключається в момент відскоку шліфувального круга від поверхні оброблення. Покази пристрою 12, отримані у статичному стані вимірювання деталі, за відсутності збурюючих факторів відповідають часу t_u , а покази пристрою під час дії збурюючих факторів будуть рівні часу t_x . Оскільки сигнал $U_p(t)$ змінюється з постійною та визначеною швидкістю C мкм/с, то відрізки часу t_x і Δt будуть пропорційні значенням U_x : $t_x = U_x / C$ та $\Delta t = t_u - t_x$ якщо $U_p(t) = U_x$.

Відрізок часу Δt є динамічною похибкою в одиницях часу. Із часової діаграми випливає що $\Delta t = \Delta x / C$, відповідно, $\Delta x = C \Delta t$, де Δx – динамічна похибка, виражена в одиницях довжини.

Покази пристрою часових інтервалів 14 характеризує запізнення верстату.

Порядок перевірки впливу інших факторів на динамічну похибку активного контролю і результати перевірки зведені в табл.1.

Окремі збурюючі чинники, що впливають на похибку приладу, визначались з припущенням, що вплив цих чинників є некорельованим і підпорядковується нормальному закону розподілу.

Середнє квадратичне значення статистичної похибки σ_1 отримали за результатами оброблення значень t_u ; середнє квадратичне значення похибки від обертання деталі - виразу $\sqrt{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}$, у якому σ_2 визначалось за результатами оброблення значень t_{x1} .

Таблиця 1

Порядок перевірки впливу інших факторів на динамічну похибку активного контролю

Вид похибки	Формула	Значення похибки, мкм
Статична похибка приладу сумісно зі стендом	$6\sigma_1$	0,5
Похибка від обертання деталі	$6\sqrt{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}$	0,66
Похибка від обертання шпинделя круга	$6\sqrt{\sigma_3^2 - \sigma_2^2}$	0,36
Похибка від осциляції шпинделя круга	$6\sqrt{\sigma_4^2 - \sigma_3^2}$	0,82
Сумарна похибка приладу (похибка видачі команд в процесі шліфування)	$6\sigma_6$	8,4
Похибка верстату	$6\sqrt{\sigma_7^2 - \sigma_1^2}$	12,42
Загальна похибка оброблення деталей	$6\sigma_7$	15,0

Аналогічно визначалось середнє квадратичне значення похибок від дії інших збурюючих чинників. Значення σ_3 отримано за результатами оброблення значень t_{x2} , σ_4 – за результатами t_{x3} , σ_5 – за результатами t_{x4} , σ_6 – за результатами t_{x5} і σ_7 – за результатами t_{x6} .

Таким чином використання двох вимірюючих перетворювачів з наступним додаванням сигналів у системах активного дозволило з високою ймовірністю визначити появу випадкових похибок і відповідно підвищити точність вимірювання в процесі механічної обробки деталей.

1. Активный контроль размеров / С.С.Волосов, М.Л.Шлейфер, В.Я.Рюмкин и др.; Под ред. С.С.Волосова. – М.: Машиностроение, 1984. – 224с.
2. Волосов С.С., Педь Е.И. Приборы для автоматического контроля в машиностроении. М., «Машиностроение», 1970. – 310с.