

# ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ДОЗУВАННЯ З МАГНІТОПРУЖНИМИ ПЕРВИННИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ЗУСИЛЛЯ



О.Й. Рішан, канд. техн. наук  
Г. А. Коляда

**Постановка проблеми.** У системах дозування сипких матеріалів доцільно використовувати диференціальний метод вимірювання як у разі реалізації самого ваговимірювального пристрою дозатора, так і в первинному вимірювальному вимірювачі зусилля, який застосовується в дозаторі.

Суть диференціального методу вимірювання полягає в тому, що на ваговимірювальний пристрій подається і вимірюється тільки різниця між вимірюваною масою сипкого матеріалу в дозі і масою, яка відтворена мірою. Метод використовується у випадках коли вимірювана маса дози  $X$ , може бути надана залежністю:  $X = X_0 \pm \Delta X$ ,

де  $X_0$  – номінальне значення вимірюваної маси;  $\pm \Delta X$  – можливе відхилення вимірюваної маси від номінального значення, яке знаходиться в межах до  $\pm 10\%$  від  $X_0$ ; і коли просто й точно реалізується операція віднімання між вимірюваною масою  $X$  і її номінальним значенням  $X_0$ .

Операція віднімання виконується на важелях ваговимірювальної платформи, на якій знаходиться, наприклад, бункер для дозування сипкого матеріалу, а значення  $X_0$  задається відповідною вагою міри.

Використовуючи первинний вимірювальний перетворювач (ПВП) зусилля відносно низького класу точності у ваговимірювальному пристрої, можна суттєво підвищити загальну точність вимірювання дози. Так,

наприклад, необхідно вимірювати дозу сипкого матеріалу в бункері в межах  $50 \pm 1$  кг з використанням ПВП зусилля у ваговимірювальному пристрої класу точності **1,0** (допустима наведена похибка  $\gamma_{\text{пр}}$  ПВП не більше 1%).

При цьому за умови використання ваговимірювального пристрою, який реалізує метод вимірювання безпосередньої оцінки, абсолютна похибка дозування  $\Delta_{\text{бо}}$  цього пристрою буде дорівнювати не менше (не врахована маса бункера):

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{бо}} &= \pm D (\gamma_{\text{пр}} / 100) = [(50 + 1) * 1] / 100 = \\ &= \pm 0,51 \text{ кг} = \pm 510 \text{ г.} \end{aligned}$$

Якщо ж застосовувати диференціальний метод, то необхідно використати міру, наприклад,  $X_0 = 48$  кг, якою компенсується частина дозованої маси, і додаткову міру для компенсації ваги самого бункера, що діє на ваговимірювальний пристрій, і вимірювати тільки різницю (можливе відхилення) у межах  $\pm 2$  кг цим же ПВП. У цьому випадку загальна абсолютна похибка дозування  $\Delta_{\text{дм}}$  в діапазоні 4 кг дорівнює:

$$\Delta_{\text{дм}} = (4 \cdot 1) / 100 = \pm 0,04 \text{ кг} = \pm 40 \text{ г.}$$

Але точність вимірювання всієї маси матеріалу в бункері в разі реалізації дифе-

ренціального методу (результат вимірювання відхилення кожного разу додається до номінальної ваги 48 кг) буде визначатися наведеною похибкою:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{пр}} &= (\Delta_{\text{дм}} / \mathbf{D}) \cdot 100\% = \\ &= (0,04 / 52) \cdot 100 \cong 0,08\%. \end{aligned}$$

Отже, правильний вибір методу вимірювання надає можливість у багатьох випадках без особливих витрат підвищити точність дозування маси сипких матеріалів майже на порядок.

Подальше підвищення точності дозування може бути досягнуто тільки за рахунок підвищення класу точності використаного ПВП зусилля. Як ПВП у системах дозування найчастіше використовуються тензометричні і магнітопружні перетворювачі. Основна перевага магнітопружних ПВП зусилля – витримування можливих в умовах реального виробництва короточасних дворазових перевантажень, у той час як тензометричні ПВП витримують зусилля перевантаження не більше 1,2 від розрахункового.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [2; 3; 4], в яких розглядалася проблема підвищення точності ПВП і на яку посилаються автори, показав необхідність побудови систем дозування з використанням ПВП, що реалізують диференціальний метод вимірювання з замкненою структурою, яка б дала змогу компенсувати фактори, що впливають на ПВП, зміною напруги його живлення.

**Мета статті** – розробка й дослідження для систем дозування магнітопружних первинних вимірювальних перетворювачів зусилля з реалізацією диференціального методу вимірювання.

**Виклад основного матеріалу.** Основною перевагою ПВП зусилля, що реалізовані на основі диференціального методу вимірювання з використанням двох ідентичних чутливих елементів, один із яких стискується під

дією вимірюваного зусилля, а другий – розтягується, є можливість утворення замкненої структурної схеми ПВП. Це дає змогу коригувати багато складових його загальної похибки, включаючи і похибку зміщення нуля. Для цього в системі вимірювання зусилля зміною напруги збудження чутливих елементів, одночасно зі зміною вимірюваного зусилля, підтримується незмінною і рівною заданій сума вихідних сигналів обох чутливих елементів, один із яких стискується під дією вимірюваного зусилля, а другий – розтягується [1].

Основною умовою такого структурного забезпечення інваріантності є однаковий приріст по діапазону вимірювання сигналів чутливих елементів: одного в бік його збільшення, а другого – в бік зменшення і навпаки. У разі застосування магнітопружних чутливих елементів (МПЧЕ) їхня характеристика перетворення (ХП) по діапазону вимірювання має залежність близьку до квадратичної (ХП повторює криву намагнічування сплаву, з якого виготовлений чутливий елемент), а вказана інваріантність може бути гарантована тільки у відносно вузькому діапазоні вимірювання, в якому забезпечується рівність приросту сигналів чутливих елементів.

Розширення діапазону вимірювання з лінійною залежністю вихідного сигналу ПВП від вимірюваного зусилля при одночасному підвищенні коефіцієнта компенсації факторів, що впливають на ПВП, можливе за рахунок лінеаризації характеристик перетворення МПЧЕ в аналоговій формі, перед ввімкненням їх у ланцюг зворотного зв'язку системи збудження ПВП.

Схема лінеаризатора (рис.1) виконана у вигляді усереднюючого неінвертуючого підсилювача-суматора з автоматичним регулюванням коефіцієнта підсилення і високим вхідним опором. Схема одночасно підсилює постійну складову вхідного сигналу і зменшує його пульсації за рахунок ємності С і модулює інерційну ланку першого порядку

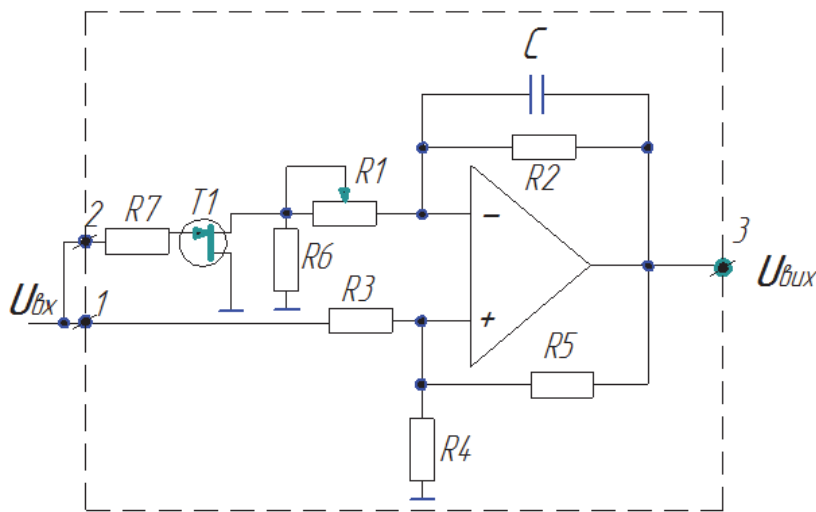


Рис.1. Підсилювач – лінеаризатор магнітопружного чутливого елемента

з передавальною функцією:

$$W(p) = \frac{R_2}{R_1 + R_{VAR}} \frac{1}{1 + pCR_2} \quad (1)$$

Вихідний сигнал лінеаризатора залежно від вхідного сигналу дорівнює:

$$U_{ВИХ} = K_{П,ВХ} \frac{U_{ВХ}}{\beta_O - \beta_{П}} \quad (2)$$

де  $K_{П,ВХ}$  – коефіцієнт передачі вхідного

$$\text{сигналу } K_{П,ВХ} = \frac{G_3}{G_3 + G_4 + G_5} ;$$

$\beta_O$  – коефіцієнт від’ємного зворотного

$$\text{зв’язку } \beta_O = \frac{G_1}{G_2 + G_1 - G_{VAR}} ;$$

$\beta_{П}$  – коефіцієнт позитивного зворотного

$$\text{зв’язку } \beta_{П} = \frac{G_5}{G_3 + G_4 + G_5} ;$$

$G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  – провідності резисторів  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  відповідно,

$G_{VAR}$  – провідність паралельно з’єднаних резистора  $R_6$  і переходу «стік-виток» польового транзистора Т1.

Якщо виконати умову  $\beta_{П} = \beta_O(1 - K_{П,ВХ})$  і

підставити його значення в (2), то отримаємо:

$$U_{ВИХ} = \frac{U_{ВХ}}{\beta_O} = G_1 \frac{U_{ВХ}}{G_2 + G_1 - G_{VAR}} \quad (3)$$

і як наслідок – вхідна напруга не викликає струм через опір  $R_3$ , що еквівалентно вхідному опору, близькому до безмежності.

Регулювання коефіцієнта підсилення лінеаризатора здійснюється також за допомогою ланцюга з високим вхідним опором (сотні МОм), в якому вхідний сигнал одночасно подається на затвор польового транзистора Т1 із заземленим стоком, який виконує в цьому режимі функцію лінійного змінного опору і який з’єднаний паралельно з резистором  $R_6$ . Одночасно ця ланка збільшує коефіцієнт підсилення лінеаризатора із зростанням сигналу на його вході (зменшується  $\beta_O$  в залежності (3)).

Залежність (3) можемо зобразити в такому вигляді:

$$U_{ВИХ} = G_2 \frac{U_{ВХ}}{G_2 + G_1 - G_{VAR}} = G_2 \frac{U_{ВХ}}{G_{12} - K_1 U_{ВХ}} \quad (4)$$

де  $G_{12} = G_1 + G_2$  – загальна провідність опорів  $R_1$  і  $R_2$ ;

$K_1$  – коефіцієнт перетворення зміни напруги на вході ланки регулювання коефіцієнта підсилення у відповідну зміну провідності паралельно з’єднаних резистора  $R_6$  і переходу

«стік-виток» польового транзистора Т1.

Оскільки вихідний сигнал МПЧЕ має квадратичну залежність з падаючою чутливістю, яка описується на вході лінеаризатора залежністю

$$U_{\text{ВХ}} = K * X - CX^2, \quad (5)$$

де  $X$  – вимірюване зусилля,

$K$  і  $C$  – коефіцієнти пропорційності при лінійній складовій ХП чутливого елемента та квадратичній відповідно, то, підставивши рівняння (5) у рівняння (4), отримуємо залежність вихідного сигналу лінеаризатора для кожного з двох чутливих елементів, які утворюють ПВП зусилля:

$$\begin{aligned} U_{\text{ВІХ}} &= G_1 \frac{U_{\text{ВХ}}}{G_{12} - K_1 U_{\text{ВХ}}} = \\ &= G_1 X \frac{K - CX}{G_{12} - K_1 KX + K_1 CX^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Із рівняння (6) може бути отримана умова найбільш повного коригування нелінійності характеристики перетворення МПЧЕ:

$$K_1 = \frac{CG_{12}}{K(K - CK)}. \quad (7)$$

Правильний вибір провідності  $G_{12}$  і величини коефіцієнта  $K_1$ , які визначають глибину коригування, дає змогу знизити вихідну похибку нелінійності характеристики перетворення МЧЕ більше ніж на порядок. На рис. 2 наведені експериментально зняті характеристики перетворення в діапазоні від повного розвантаження до максимального розрахункового зусилля МПЧЕ, що виготовлений із сплаву Ю12 і затиснутий з попереднім початковим зусиллям, яке дорівнює 0,5 максимального, в Н-подібній пружині зі сталі 65Г, до (I) і після (II) лінеаризації.

Функціональна схема магнітопружного ПВП для дозування сипких матеріалів у накопичувальному бункері з реалізацією диференціального методу вимірювання і лінеаризованими характеристиками перетворення чутливих елементів наведена на рис. 3.

Система вимірювання зусилля складається з двох магнітопружних чутливих елементів, затиснутих в Н-подібній пружині з початко-

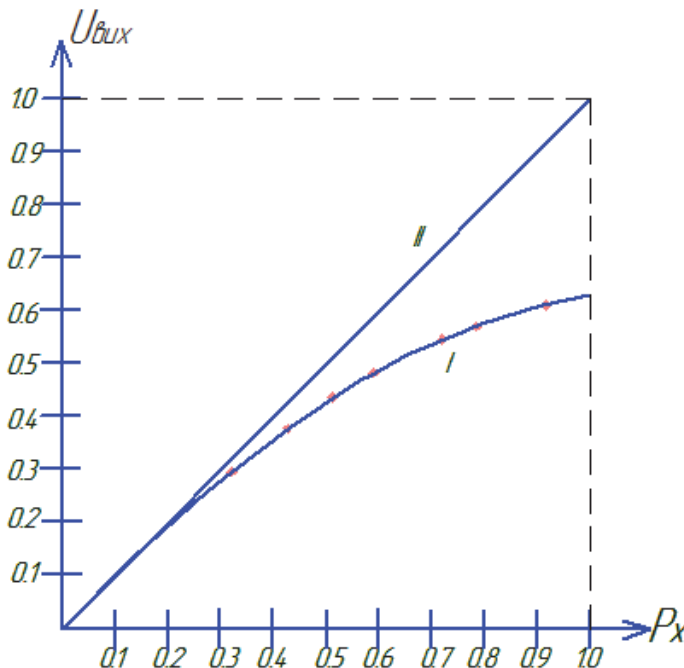


Рис.2. Залежність між зміною вимірювання зусилля  $P_x$  і вихідною напругою лінеаризатора

вим зусиллям і нижній з яких працює на стискування, а верхній – на розтягування. Обидва чутливі елементи живляться від одного генератора збудження ГЗ синусоїдальних коливань, який вміщує задавальний генератор ЗГ, схему автоматичного регулювання підсилення генератора на польовому транзисторі Т і підсилювач потужності ПП [2]. Вихідні сигнали обох МПЧЕ знімаються з потенціометрів  $R_{H1}$  і  $R_{H2}$ , які ввімкнені послідовно з МПЧЕ як навантаження. З потенціометра  $R_{H1}$  сигнал МПЧЕ, що розтягується, надходить на детектор Д1 і лінеаризатор ПЛ1, а сигнал МПЧЕ, що стискується, з потенціометра  $R_{H2}$  – на детектор Д2 і лінеаризатор ПЛ2.

Вихідний уніфікований аналоговий сигнал по напрузі, пропорційний вимірюваному зусиллю, знімається з виходу прецизійного інструментального підсилювача ІП за диференціальною схемою, інвертуючий вхід якого

підімкнений до лінеаризованого сигналу МПЧЕ, що розтягується, а неінвертуючий – до відповідного сигналу МПЧЕ, завдяки чому забезпечується подвійна напруга на його виході. Необхідний масштаб вихідного сигналу встановлюється змінним опором  $R_p$ .

Одночасно обидва сигнали з лінеаризаторів ПЛ1 і ПЛ2 додаються на інвертуючому вході подвійного інтегратора ІІ, на неінвертуючий вхід якого надходить сигнал від зразкового джерела  $U_3$  через потенціометр  $R_3$ . Вихідний сигнал інтегратора ІІ діє на вхід схеми автоматичного регулювання підсилення генератора збудження ГЗ (затвор транзистора Т) і змінює амплітуду напруги живлення обох МПЧЕ таким чином, що сума сигналів обох МПЧЕ підтримується незмінною і рівною сигналу від джерела зразкової напруги.

У процесі навантаження зі збільшенням

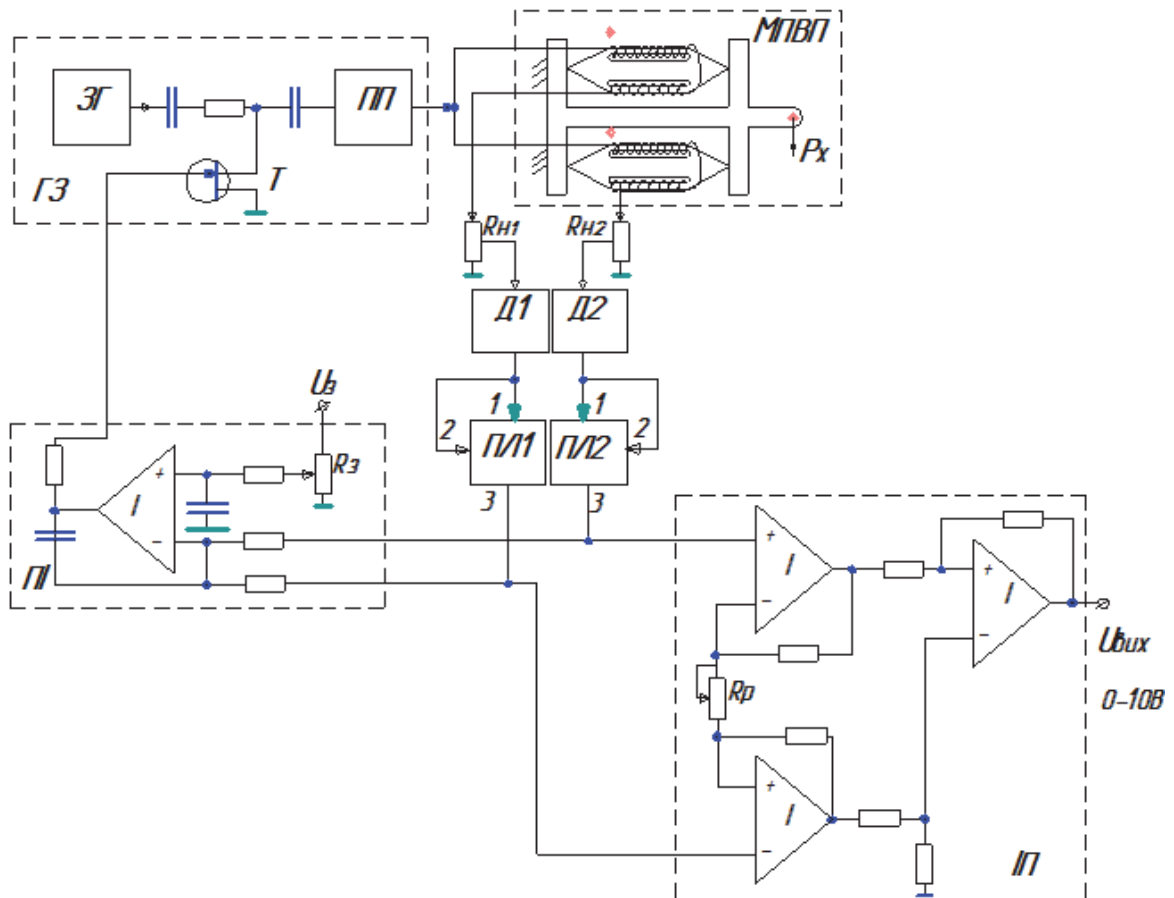


Рис. 3. Функціональна схема магнітопружного первинного вимірювального перетворювача



(чи зменшенням) сигналу одного МПЧЕ відбувається пропорційне зменшення (чи збільшення) сигналу другого, але їхня сума, що підтримується незмінною, не впливає на процес вимірювання і на отримання вихідного сигналу, який визначається як різниця сигналів від нижнього й верхнього МПЧЕ.

Одночасно підтримування незмінною суми сигналів обох МПЧЕ надає можливість усунути вплив навколишнього середовища на систему вимірювання зусилля, який спричинює появу додаткових похибок, і збільшити внаслідок лінеаризації сигналів МПЧЕ діапазон вимірювання, в якому коефіцієнт компенсації впливаючих факторів є максимальним. У розглянутому магнітопружному первинному вимірювальному перетворювачі (МПВП) компенсовано зміщення нуля характеристики перетворення, яке в разі викорис-

тання традиційних схем живлення МПВП становить 1,5% від діапазону вимірювання.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дифференциальный способ измерения усилий / *Ришан А.И.* // Автоматизация виробничих процесів (Всеукраїнський науково-технічний журнал). – 2003. – № 1 (16). – С. 166–168.
2. Ультразвуковий пристрій контролю положення і об'єктів з використанням генератора на самозбудженні / *Ришан О.Й., Романчук С.В.* // Науково-технічна інформація. – 2011. – № 3. – С. 41–44.
3. Структурні способи забезпечення інваріантності первинно-вимірювального перетворювача: матеріали міжнарод. наук.-техн. конф. – К.: НУХТ, 2009. – С. 21–22.
4. Способы снижения методической погрешности нелинейности ультразвуковых интерференционных методов контроля уровня жидкости / *Ришан А.И., Христенко В.О.* // Научно-техническая информация. – 2011. – № 4. – С. 54–56.

УДК 621.396.933(045)

## КУРСОВИЙ РАДІОЧАСТОТНИЙ КАНАЛ КОМПЛЕКСОВАНОЇ НАВІГАЦІЙНО-ПОСАДКОВОЇ АПАРАТУРИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ



**Я.В. Кондрашов**, канд. техн. наук,  
**Д.М. Туренко**

**Постановка проблеми.** На внутрішніх і міжнародних авіалініях перебуває в експлуатації велика кількість літаків, в які вбудована бортова навігаційно-посадкова апаратура (НПА), яка не завжди відповідає вимогам зі стійкості до збурень і електромагнітної сумісності.

На основі стандартного обладнання аналогічного призначення ILS-85, VOR-85 [2],

побудованого за міжнародними рекомендаціями ARINC-710, ARINC-711 апаратури, створюється НПА. При її побудові однією з найважливіших задач є розробка радіочастотних трактів, які відповідають міжнародним вимогам зі стійкості до збурень і електромагнітної сумісності.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Підвищити надійність