

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Опришкіна Марина Ігорівна

УДК 621.314

**ТЕСТОВИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДАВАЧІВ З
НЕЛІНІЙНИМИ ФУНКЦІЯМИ ПЕРЕТВОРЕННЯ**

Спеціальність 05.11.05 – прилади та методи
вимірювання електричних та магнітних величин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кондрашов Сергій Іванович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”, м. Харків,
завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних
технологій і систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Полярус Олександр Васильович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, м. Харків,
завідувач кафедри метрології
та безпеки життєдіяльності

кандидат технічних наук, доцент
Луценко Вадим Юрійович,
Запорізька державна
інженерна академія, м. Запоріжжя,
доцент кафедри фізики

Захист відбудеться “21” червня 2013 р. о 12-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою:
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою:
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “21” травня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С. М. Глоба

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У практиці вимірювань електричних величин широке застосування отримали первинні електричні вимірювальні перетворювачі (ЕВП) з вихідними сигналами генераторного та параметричного типів. Зручність обробки вихідних сигналів опору, напруги, термоелектрорушівної сили, току у кодові сигнали зумовила широке розповсюдження таких ЕВП у складі інформаційно-вимірювальних систем.

У процесі довготривалої експлуатації на технологічних об'єктах на точнісні характеристики ЕВП впливають як зовнішні, так і внутрішні дестабілізуючі фактори. Виникає проблема втрати інформації, зниження рівня її достовірності внаслідок поступової зміни метрологічних характеристик та виникнення похибок ЕВП.

Традиційні методи метрологічного забезпечення ЕВП у складі вимірювальних каналів мають обмежене застосування у разі безперервного технологічного процесу, оскільки неможливо зупинити обладнання для демонтажу ЕВП та проведення поточного контролю. Здійснити корекцію похибок безпосередньо у процесі роботи дозволяють структурно-алгоритмічні методи підвищення точності. З точки зору корекції систематичних похибок вхідних сигналів ЕВП перспективним напрямком є застосування тестових методів, оскільки вони не потребують відключення вхідного сигналу від засобу вимірювання.

Однак, на сьогоднішній день, незважаючи на достатньо великий об'єм досліджень у галузі систем тестового контролю, залишається ряд невирішених задач, які суттєво обмежують використання тестових методів для вимірювальних каналів, що мають у своєму складі ЕВП з нелінійними, у тому числі дробово-раціональними функціями перетворення (ДРФП). Отже, подальший розвиток теоретичних основ тестових методів ЕВП, їх удосконалення та детальний аналіз похибок, є актуальною задачею, що дозволить у значній мірі заощадити матеріальні та технічні ресурси шляхом подовження терміну служби ЕВП на об'єкті експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалася відповідно до тематики роботи кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем НТУ «ХП». Здобувач, як виконавець, брав участь у науково-дослідних держбюджетних роботах МОН України: «Дослідження наукових проблем метрологічного забезпечення динамічного бездемонтажного самоконтролю інтелектуальних інформаційно-керуючих систем» (ДР № 0103U001539), «Підвищення точності інформаційно-вимірювальних та управляючих систем засобами бездемонтажного тестового контролю» (ДР № 0106U001514) та «Підвищення точності вимірювальних перетворювачів засобами вбудованого тестового контролю» (ДР № 0109U002421).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка та удосконалення тестових методів підвищення точності визначення вхідних сигналів ЕВП, що мають нелінійні функції перетворення на основі теорії реляційно-різницевого операторів корекції вхідних електричних сигналів.

Для досягнення поставленої мети поставлені наступні задачі:

– дослідити можливість використання тестів: адитивних, мультиплі-

кативних або комбінованих у електричних перетворювачах, що мають ДРФП;

- провести аналіз метрологічних властивостей реляційно-різницевих моделей (РРМ) ЕВП щодо визначення впливу адитивних та мультиплікативних складових похибок вимірювання для ДРФП;

- проаналізувати можливості лінеаризації та стабілізації дробово-раціональної та поліноміальної функцій перетворення ЕВП;

- визначити вимоги до точності вимірювання вхідних електричних сигналів ЕВП при формуванні РРМ з урахуванням похибки нелінійності операторів корекції;

- розробити методи аналізу та синтезу систем тестового контролю ЕВП з ДРФП.

Об'єкт дослідження – неконтрольовані процеси зміни метрологічних характеристик електричних давачів.

Предмет дослідження – тестові методи підвищення точності вимірювання вхідних сигналів електричних давачів з нелінійними функціями перетворення (ФП) на базі теорії реляційно-різницевих операторів корекції.

Методи дослідження. При вирішенні проблеми підвищення точності вимірювання вхідних сигналів ЕВП у складі систем управління довготривалої дії використано методи системного аналізу. Для теоретичного аналізу реляційно-різницевих операторів корекції, вирішення задач аналізу і синтезу систем тестових випробувань нелінійних ЕВП використовувалися аналітичні методи досліджень, основу яких склали: теорія математичних моделей у матричній формі; лінійних інтегральних рівнянь; теорія ймовірності і випадкових процесів; математична статистика і теорія похибок вимірювань; чисельні методи різницевих рівнянь застосовані для аналізу реляційно-різницевих моделей; інтерполяційні ряди Тейлора; методи елементарної алгебри для обчислення похибок нелінійності, методи комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів:

- подальший розвиток отримала теорія тестових методів підвищення точності вимірювання вхідних електричних сигналів стосовно первинних ЕВП, що мають нелінійну дробово-раціональну та поліноміальну функції перетворення;

- доведено, що РРМ оператори для ЕВП з нелінійною ДРФП дозволяють корегувати результати вимірювання електричного вхідного сигналу лише за умови формування адитивних тестових впливів однакової величини, але різних за знаками, або однакових за знаком, але різних за абсолютною величиною. Мультиплікативні та змішані адитивні і мультиплікативні тести не дозволяють визначити оцінку дійсного значення вхідного сигналу;

- вперше для ДРФП розроблено інженерний метод визначення параметрів систем тестового контролю, що дозволяє за заданою точністю вимірювань отримати необхідну кількість розрядів АЦП (задача синтезу), або вирішити зворотню задачу і розрахувати точність системи за заданою розрядністю АЦП (задача аналізу);

- проведено аналіз лінеаризуючих та стабілізуючих властивостей РРМ

для дробово-раціональних та поліноміальних ФП;

– вперше запропоновано метод квазілінеаризації ДРФП узагальненою гіперболою, який дозволяє вирішити задачу корекції та оцінити похибки нелінійності.

Практичне значення одержаних результатів для приладобудування полягає у запровадженні методів, націлених на створення пристроїв контролю і корекції точнісних характеристик вхідних сигналів ЕВП з нелінійними дробово-раціональними функціями перетворення.

- На ТОВ «Серп та молот» (м. Харків) запроваджено систему тестового контролю характеристик вимірювальних каналів, що мають у своєму складі ЕВП з електричними вихідними сигналами, для автоматичної ливарної машини (акт від 15.05. 2008 р).

- На ВАТ «ХТЗ» (м. Харків) впроваджено метод розрахунку параметрів систем тестового контролю. Результати теоретичних розрахунків вибору параметрів систем тестового контролю планується використати для оцінки точності системи контрольно-вимірювального каналу температури металу та рівня металу у плавильних печах (акт від 18.10.2012 р).

- Матеріали теоретичних досліджень впроваджено в навчальний процес кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем НТУ «ХП» у курсах: «Інформаційно-вимірювальні комплекси», «Інформаційно-вимірювальні системи», «Контроль динамічних систем» (акт від 15.01.2013 р).

Особистий внесок здобувача. Всі основні наукові теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи, які винесені до захисту, отримані здобувачем самостійно, що підтверджується публікаціями по ключовим аспектам проблеми. Серед них: проведення метрологічного аналізу операторів корекції для електричних давачів з ДРФП; розрахунок похибок нелінійності при обмеженні математичної моделі лінійними членами ряду; розробка методу аналізу та синтезу систем тестового контролю для засобів вимірювання (ЗВ), що мають у своєму складі ЕВП з ДРФП; проведення експериментальних досліджень, обробка та узагальнення результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідалися на: ІХ, ХІ, ХІІ, ХІІІ, ХІV, ХV, ХVІ, ХVІІ, ХVІІІ, ХІХ, МНТК „Інформаційні технології: наука, технологія, освіта” (Харків, 2003 – 2012 рр.); ІІІ, ІV, V, VI, VII МНТК „Метрологія та вимірювальна техніка” (Харків, 2002, 2004, 2006, 2008, 2012 рр.); 2-ому Міжнародному радіоелектронному форумі “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития” МРФ–2005, (Харків, 2005 р.); 5-ій НТК “Удосконалення системи і засобів метрологічного забезпечення озброєння та військової техніки” (Харків, 2005 р.); 6-ому та 10-ому ювілейних міжнародних молодіжних форумах «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», (Харків, 2002, 2006 рр.); МНТК «Автоматизация: проблемы, идеи, решения», (Севастополь 2011 р.); XXV МНК «Математические методы в технике и технологиях ММТТ-25» (Харків, 2012 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 28 друкованих праць, у тому числі: 14 статей у фахових виданнях, 13 – у збірках доповідей і тез міжнародних і регіональних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 186 сторінок, з них 46 рисунків по тексту; 9 таблиць по тексту; список використаних джерел зі 110 найменувань на 15 сторінках; 6 додатків на 39 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету роботи та основні задачі дослідження, наведено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено наукову новизну та практичне значення роботи, зазначено особистий внесок здобувача, вказано відомості про апробацію результатів досліджень і їх публікації.

У першому розділі проведено аналіз існуючих методів підвищення точності вимірювань ЕВП у складі інформаційно-вимірювальних систем. Виявлені недоліки методів стабілізації та корекції функцій перетворення. Показано, що корекцію похибок вимірювання безпосередньо у процесі роботи дозволяють здійснити структурно-алгоритмічні методи підвищення точності вимірювань. При корекції систематичних адитивних та мультиплікативних похибок вхідних сигналів ЕВП з нелінійними дробово-раціональними та поліноміальними ФП перспективними є тестові методи. Вони дозволяють здійснити поточний контроль точнісних характеристик електричних давачів у процесі їх експлуатації на об'єкті. Наведені приклади показують, що при корекції значень вхідних сигналів ЕВП і застосуванні систем тестового контролю для ЕВП з нелінійними дробово-раціональними та поліноміальними ФП, виникає клас моделей безрозмірних операторів корекції реляційно-різницевого типу. Такі оператори є розрахунковими і дозволяють знайти оцінку дійсного значення вхідної вимірюваної величини.

На основі узагальнення досліджень, визначені основні завдання та обґрунтовано напрямки досліджень.

У другому розділі проведено аналіз метрологічних властивостей РРМ операторів корекції для ЕВП з нелінійною ФП, яка у загальному випадку задається математичною моделлю:

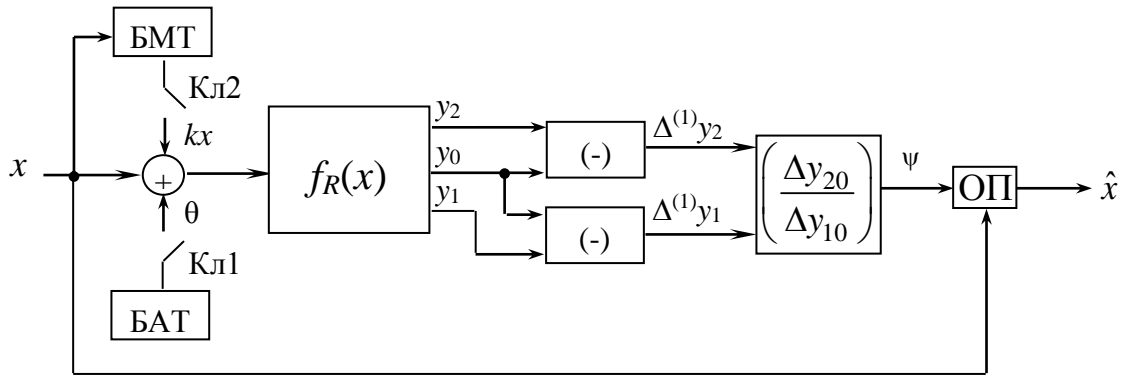
$$y = f(x, a_i) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot x^{\pm i} = a_0 + a_1 \cdot x^{\pm 1} + \dots + a_n \cdot x^{\pm n}, \quad i = \overline{0, n}, \quad a_i \neq 0,$$

де y – вихідна величина; a_0, a_1, \dots, a_n – параметри ФП; x – вимірювана величина.

На рис. 1 показана схема отримання оцінки вхідного сигналу ЕВП у системі тестового контролю шляхом формування тестових впливів та отримання РРМ операторів корекції.

Алгоритм тестового контролю передбачає одне основне (y_0) і два додаткових (y_1 та y_2) вимірювання при здійсненні тестових впливів θ і $k \cdot x$, відповідно. Система різницевих рівнянь матиме вид:

$$\begin{cases} \Delta y_{10} = y_1 - y_0 = a_1 \theta, \\ \Delta y_{20} = y_2 - y_0 = a_1 x(k-1). \end{cases} \quad (1)$$



БМТ, БАТ – блоки формування мультиплікативних та адитивних тестів.

Рисунок 1 – Схема визначення оцінки вхідного сигналу у системі тестового контролю при формуванні реляційно-різницевої моделі

З (1) отримано розрахункову оцінку вхідного сигналу ЕВП \hat{x} , яка обчислюється за результатами тестових вимірювань та їх різницевої значень

$$\hat{x} = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{10}} \cdot \frac{\theta}{k-1} = \psi \frac{\theta}{k-1} = \psi \cdot \theta^*, \quad (2)$$

де ψ – реляційно-різницева тестова модель оператора корекції; θ^* – значення узагальненого тесту.

Проаналізовано можливість використання тестів трьох видів (адитивних $L_{1,2}(x) = x + \theta_{1,2}$ та $L_{1,2}(x) = x \pm \theta$, мультиплікативних $L_{1,2}(x) = k_{1,2} \cdot x$ та комбінованих $L_1(x) = x + \theta$, $L_2(x) = k \cdot x$) для ЕВП, функція перетворення яких задана у вигляді математичної моделі:

$$y_0 = a_0 + a_1 x^{-1} + a_2 x^{-2} + \dots + a_n x^{-n} = \sum_{i=0}^n a_i x^{-i}, \quad a_i \neq 0. \quad (3)$$

Запропоновано використовувати наближення моделі (3) для реалізації алгоритму тестового контролю ЕВП з ДРФП:

$$\begin{cases} y_0 = a_0 + a_1 \cdot x^{-1}, \\ y_1 = a_0 + a_1 [L_1(x)]^{-1}, \\ y_2 = a_0 + a_1 [L_2(x)]^{-1}, \end{cases} \quad (4)$$

де $L_1(x)$ та $L_2(x)$ – функціональні тестові впливи.

Шляхом використання залежностей (4) доведено, що значення оцінки вхідного сигналу ЕВП можна знайти при використанні адитивних тестів однакової величини, але різних за знаками ($L_{1,2}(x) = x \pm \theta$), або однакових за знаками, але різних за величиною ($L_{1,2}(x) = x + \theta_{1,2}$) з формули

$$\hat{x} = \theta \frac{\Delta y_{20} + \Delta y_{01}}{\Delta y_{20} - \Delta y_{01}} = \theta \frac{\psi - 1}{\psi + 1} = \theta \cdot \psi^*, \quad (5)$$

де $\psi = \Delta y_{20} / \Delta y_{10}$ – тестовий реляційно-різницевий оператор корекції, який визначається експериментально; ψ^* – узагальнений математичний оператор корекції для ДРФП.

Отримано оператори корекції для різних видів ДРФП та тестових впливів ($y = a_0 \pm a_1 / (x \pm \theta_{1,2})$).

Оператор ψ є відношенням реального і номінального значень вхідних сигналів і враховуючи, що він містить похибки Δa_0 і Δa_1 , має вигляд:

$$\psi = \frac{x_P}{x_H} = \left(1 + \frac{\Delta a_1}{a_{1H}}\right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta a_0 \cdot x_H}{a_{1H}}} = (1 + \delta_m) \frac{a_{1H}}{a_{1H} - \Delta a_0 \cdot x_H}, \quad (6)$$

де Δa_0 – адитивна складова похибки; Δa_1 – мультиплікативна складова похибки ФП ЕВП.

Можливість визначення метрологічних властивостей функції (6) проілюстрована на рис. 2. Функція ψ залежить від зміни адитивної Δa_0 і мультиплікативної Δa_1 складових похибок. Аналіз отриманих функцій ψ показує, що значення РРМ оператора корекції близько до одиниці.

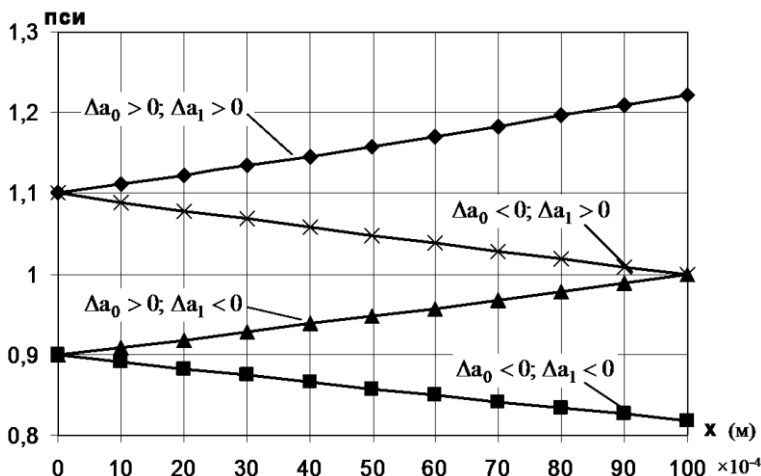


Рисунок 2 – Визначення метрологічних характеристик ψ

Відносні відхилення значення ψ мають порядок відносних значень δa_0 та δa_1 . Коефіцієнт ψ змінюється у діапазоні значень $\psi \in [0.9976; 1.0024]$ для похибок на рівні 0,1 %. Для похибок у 1 % цей діапазон значно ширший $\psi \in [0.98; 1.02]$. При похибці порядку 10 % діапазон варіювання становить $\psi \in [0.8; 1.25]$.

Третій розділ присвячений розробці методу визначення параметрів систем тестового

контролю ЕВП. Для вирішення цієї задачі проведено оцінку похибки непрямих вимірювань при нелінійних залежностях.

Оскільки функція оператора корекції $\psi^*_1(\psi_1, \theta_1, \beta) = \frac{\Delta y_{20} + \Delta y_{01}}{\Delta y_{20} - \beta \Delta y_{01}}$ (5) є

нелінійною, для оцінки її похибки запропоновано використати метод лінеаризації, що передбачає розкладання в ряд Тейлора. На практиці залишковим членом ряду R нехтують, як правило, без перевірки умови

$$R \leq 0.8 \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial \Delta y_{ij}^2} \left(\Delta(\Delta y_{ij}) \right)^2}. \quad (7)$$

Але у системах тестового контролю ця перевірка стає необхідною тому, що значення вимірюваного вихідного електричного сигналу є на порядок більшим, ніж значення різниць Δ_{ij} . Також, при використанні різницевих величин підсилюється вплив випадкової похибки. У найгіршому випадку ця складова похибки подвоюється. Випадкові похибки вимірювання різниць сигналів дорівнюють шагу квантування $\overset{\circ}{\Delta}(\Delta y_{01}) = \overset{\circ}{\Delta}(\Delta y_{20}) = q$ засобу вимірювання, отже

$$\frac{q(\beta+1)(1+\psi)}{\Delta y_{01}(\psi-\beta)} \leq 0.8 \frac{1}{\sqrt{6k}} \sqrt{1+\psi^2}, \quad (8)$$

де k – кількість додаткових вимірювань для забезпечення заданої точності контролю.

$$\text{Враховуючи, що шаг квантування ЗВ дорівнює } q = Y_{\max}/(2^n - 1) \cong Y_{\max}/2^n, \quad (8)$$

матиме вигляд:

$$\frac{1}{2^n} D_y D_{\Delta y} \frac{(\beta+1)(1+\psi)}{(\psi-\beta)} \leq 0.8 \frac{1}{\sqrt{6k}} \sqrt{1+\psi^2},$$

де $D_y = Y_{\max}/Y$ – динамічний діапазон значення вхідного сигналу ЕВП; $D_{\Delta y} = Y/\Delta y_{01}$ – динамічний діапазон значення тестового впливу.

У роботі отримано розрахункову формулу для знаходження числа розрядів n АЦП ЗВ, яке забезпечує необхідну точність системи тестового контролю

$$n = \log_2 \frac{1.6 D_y D_{\Delta y} (\beta+1) \sqrt{1+\psi^2}}{\delta x_p \sqrt{6k} (\psi-\beta)(\psi+1)}, \quad (9)$$

та константу для заданої різницевої моделі оператора корекції

$$C = \delta x_p \cdot k = 0.213 \cdot (1+\psi^2) / (1+\psi)^2. \quad (10)$$

Константа C дозволяє при заданій похибці вимірювання δx_p визначити кількість додаткових вимірювань k , необхідних для забезпечення точності контролю δx_p . Для того, щоб підвищити точність системи тестового контролю, слід мінімізувати константу моделі C . Аналізуючи отримані дані, зроблено висновок, що значення C залежить від відношення тестів $\gamma = \theta_1/\theta_2$, або $\beta = \theta_2/\theta_1$.

На основі проведених розрахунків було побудовано графічні залежності (рис. 3), та запропоновано метод визначення параметрів систем тестового контролю.

Для визначення параметрів систем тестового контролю запропоновано здійснити наступні операції:

- визначити модель оператора корекції;

- задати необхідну точність за шкалою $-\lg \delta x_p$ (наприклад, 3);
- зі знайденої точки провести перпендикуляр до кривої, що відповідає константі моделі C ;
- визначити відповідну кількість додаткових вимірювань k на шкалі $\lg k$, яка забезпечить задану точність вимірювання;
- перейти по лініях кількості вимірювань до кривої, що визначає розрядність АЦП;
- визначити число розрядів n , що забезпечить задану точність вимірювання.

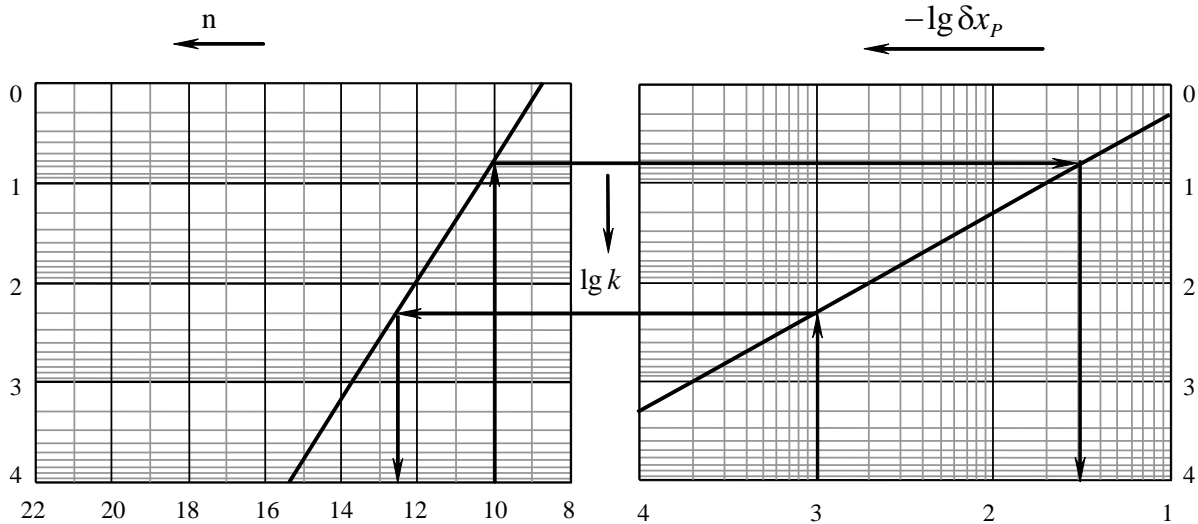


Рисунок 3 – Функціональні залежності для розрахунку параметрів системи тестового контролю

Так, наприклад, при заданій похибці вимірювання $\delta x_p = 0.001$ ($-\lg \delta x_p = 3$) кількість розрядів АЦП становить $n = 12.55 \approx 12-13$.

На практиці виникає зворотна задача аналізу точності системи тестового контролю. При заданих параметрах розрядності АЦП потрібно визначити кількість додаткових вимірювань k та точність системи контролю.

Схема послідовності дій показана на рис. 3 стрілками в напрямку, зворотному до прямої задачі.

У четвертому розділі досліджено лінеаризуючі та стабілізуючі властивості РРМ для ЕВП з нелінійними ФП.

РРМ оператора корекції для ЕВП з поліноміальною ФП може бути записана у вигляді відношення прирощень сигналів y_P та y_H на виході ЕВП для робочої x_P і номінальної x_H точок шкали

$$\begin{aligned} \frac{y_P - a_0}{y_H - a_0} &= \frac{x_P}{x_H} \cdot \left[1 + \sum_{i=2}^n \frac{a_i}{a_1} (x_P^{i-1} - x_H^{i-1}) \right] \cong \frac{x_P}{x_H} \cdot \left[1 + \sum_{i=2}^n \frac{a_i}{a_1} x_H^{i-1} (D_{PH}^{i-1} - 1) \right] = \\ &= \frac{x_P}{x_H} \cdot (1 + \delta_H) = \frac{x_P}{x_H} \cdot (1 + \delta_{HP} - \delta_{HH}), \end{aligned} \quad (11)$$

де $D_{PH} = x_P/x_H$ – коефіцієнт відношення робочого і номінального вхідних сигналів; δ_{HP} , δ_{HH} – похибки нелінійності в точках шкали x_P и x_H .

Таким чином, обчислення відношення x_P/x_H дозволяє зменшити похибку нелінійності δ_H , що визначається як різниця δ_{HP} та δ_{HH} . У цьому проявляються лінеаризуючі властивості PPM (11), які характеризуються функцією $|D_{PH}^{i-1} - 1|$. Показано, що у діапазоні від $0.5 \leq D_{PH} \leq 0.9$ функція асимптотично наближується до одиниці, а у діапазоні $1.1 \leq D_{PH} \leq 1.5$ – стрімко зростає. Вочевидь, що для зменшення похибки нелінійності необхідно обмежити варіацію $|D_{PH}^{i-1} - 1|$ умовою $|D_{PH}^{i-1} - 1| \leq 1$.

Проаналізовано стабілізуючі властивості реляційно-різницевої моделі. Показано, що при зміні коефіцієнтів поліному (наприклад на 10 %, тобто $\delta a_i = \text{const} = 0.1$), PPM дозволяє повністю виключити вплив від нестабільності коефіцієнтів поліноміальної моделі δa_i . При зміні коефіцієнтів на максимальну величину $\delta a_i = 9\%$, відношення $(y_P - a_0)/(y_H - a_0)$ змінюється на 0.2 %. Відбувається процес стабілізації функції перетворення.

Проведено аналіз похибки нелінійності при формуванні тестових впливів. У загальному випадку δ_H можна обчислити за формулою:

$$\delta_H = \sum_{i=2}^n i \cdot \frac{a_i^2}{a_1} \cdot \theta \cdot x_H^{i-1} (D_{PH}^{i-1} - 1), \quad D_{PH} = \frac{x_P}{x_H}. \quad (12)$$

Розрахунки похибки нелінійності для різних значень тестових впливів θ і відношення $D_{PH} = x_P/x_H$ показали, що величина тестового впливу θ суттєво впливає на значення похибки нелінійності. Так, при зростанні у двічі значення тесту, δ_H також збільшується у 2 рази. Лінійне наближення поліному можна використовувати по всьому діапазоні вхідних сигналів, адже δ_H не перевищує 0.06 %. Але у цьому випадку суттєвою стає похибка, що обумовлена залишковими членами ряду поліному. Вона становить 0.7 – 5 %, залежно від робочої точки шкали. Зроблено висновок, що складова похибки нелінійності має значення менше 0.1 % лише при врахуванні усіх членів поліноміальної залежності.

При обмеженні функції поліному парними степенями похибка δ_H не перевищує значення 0.15 % для $\theta = 0.1 \cdot x$, при $\theta = 0.2 \cdot x$, $\delta_H < 0.35\%$. Повна компенсація спостерігається лише при врахуванні усіх членів суми (12). У цьому випадку значення похибки нелінійності становить від 0.016 % до 0.035%.

У разі використання двох тестів $\pm\theta$ показано, що значення δ_H у значній мірі залежить від величини тестового впливу. При зростанні величини тесту суттєво зростає δ_H . Але при $\theta = \pm 0.1 \cdot x$ значення похибки δ_H приблизно у 2 рази менше від δ_H для тієї ж степені наближення при одному адитивному тесті $\theta = 0.1 \cdot x$. На рис. 4 наведена залежність похибки нелінійності від величини тестового впливу при урахуванні усіх членів ряду поліному.

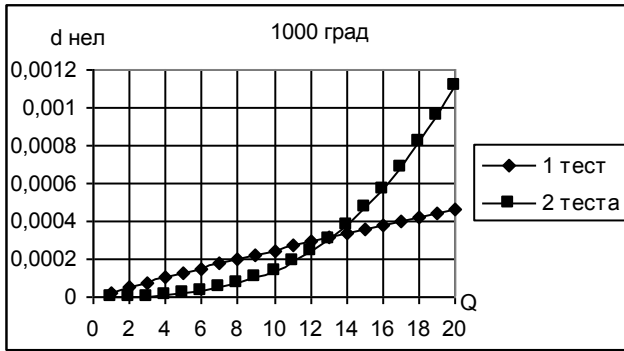


Рисунок 4 – Залежність похибки нелінійності від величини тестів

Результати рис. 4 показують, що похибка δ_H не перевищує значення 0.1 %, що у 2 рази менше, ніж при використанні одного тесту.

Для оцінки похибки нелінійності коефіцієнту корекції ψ ДРФП у роботі отримана формула

$$\psi = \frac{1 + \frac{x}{\theta_1}}{1 - \frac{x}{\theta_2}} \cdot \frac{1 + \delta_{H1}}{1 + \delta_{H2}} = \frac{1 + \frac{x}{\theta_1}}{1 - \frac{x}{\theta_2}} (1 + \delta_H).$$

Остання формула вказує на ефект зменшення похибки нелінійності, що

відбувається при умові $\delta_H \ll 1$. Так, наприклад для значень $x \leq 0.1 \cdot a_1$, $y \geq 11 \cdot a_0$ – це діапазон максимальних чутливостей. Мінімальне значення x визначається технологічними вимогами на границі зони контролю.

За проведеними розрахунками було розроблено метод аналізу похибок нелінійності операторів корекції різних структур

1. Вибирається модель узагальненого оператора корекції, наприклад $\psi^*_1(\psi_1, \theta_1, \beta)$;

$$\beta = |\theta_2/\theta_1| \text{ для ДРФП } y = a_0 + a_1/x_{-\theta_2}^{+\theta_1}; \quad \psi^*_1 = -\frac{2\psi_1}{\psi_1(\beta-1) - (1+\beta)}.$$

2. Визначається диференційний коефіцієнт чутливості узагальненого оператора ψ^*_1 відносно оператора ψ^* :

$$\frac{\partial \psi^*_1}{\partial \psi_1} = \frac{2(1+\beta)}{[\psi_1(\beta-1) - (\beta+1)]^2}. \quad (13)$$

3. Оскільки оператор ψ^* сам є функцією відносно оператора $\psi_1 = \Delta y_{20}/\Delta y_{10}$,

$$\text{визначається } \Delta_{\text{нел.}} \psi^*_1(\psi_1, \theta_1, \beta) = \frac{\partial \psi^*}{\partial \psi_1} \Delta_{\text{нел.}} \psi_1$$

$$\frac{\partial \psi_1}{\partial \psi} = \frac{2}{(\psi+1)^2}. \quad (14)$$

4. Знаходиться значення оператора корекції

$$\psi = \left\{ \theta_2(x + \theta_1) \left[\frac{1}{\theta_2} + \frac{2x - \theta_2}{\theta_1 x(x - \theta_2)} \right] \right\} / \left\{ \theta_1(x - \theta_2) \left[\frac{1}{\theta_2} + \frac{2x + \theta_1}{\theta_1 x(x + \theta_1)} \right] \right\}. \quad (15)$$

5. Отримують оператор для даної моделі, що дозволить оцінити похибку нелінійності. Для цього необхідно (15) підставити у формулу похідної (14), а отриманий результат десь змогу визначити диференційний коефіцієнт чутливості (13).

Для дослідження лінеаризуючих властивостей РРМ для ДРФП.

запропоновано оцінювати окремо дві складові похибки нелінійності:

– перша виникає за рахунок того, що вид функції перетворення відрізняється від «ідеальної» гіпер-боли $y = a_0 + a_1/x$;

– друга складова є наслідком нелінійності самого оператора корекції ψ , який являє собою результат ділення.

Перша складова. При проектуванні пристроїв, що мають у своєму складі ЕВП з ДРФП як правило приймається допущення, що ФП має «ідеальний» характер і майже не відрізняється від $y = a_0 + a_1/x$. Але у реальних умовах експлуатації завдяки впливу зовнішнього середовища, факторів старіння, тощо, ФП може змінюватися і суттєво відрізнятися від номінальної (приписаної). Припустимо, що реальна функція відрізняється від номінальної на квадратичний a_2/x^2 та кубічний a_3/x^3 доданки. А також у процесі експлуатації можуть змінюватися коефіцієнти a_0, a_1, a_2, a_3 .

Виходячи з цього припущення, у роботі отримано графіки, з яких зроблено висновки: зміна коефіцієнта a_0 не впливає на вид нелінійності функції, а лише зміщує криву вздовж осі y ; чим ближче значення коефіцієнту a_1 до максимального рівня вхідного сигналу, тим менше відрізняється реальна функція перетворення від номінальної. Це відбувається незалежно від кількості доданків.

Друга складова. Виникає за рахунок нелінійності оператора корекції ψ . Оцінити цю складову похибки пропонується за допомогою розкладання функції перетворення у ряд Тейлора

$$f(x + \theta) = f(x) + \frac{\theta}{1!} f'(x) + \dots + \frac{\theta^{n-1}}{(n-1)!} f^{(n-1)}(x).$$

Усі доданки розкладання, починаючи з третього, характеризують похибку нелінійності. Для спрощення розрахунків обмежується кількість членів розкладання квадратичним доданком

$$f(x + \theta) \cong f(x) + \frac{\theta}{1!} f'(x) + \frac{\theta^2}{2!} f^{(2)}(x). \quad (16)$$

Отримано реляційно-різницевий оператор корекції: $\psi = \Delta y_{20} / \Delta y_{10}$.

$$\psi = \frac{\theta_2}{\theta_1} \left(\frac{1 + \theta_2/x}{\theta_1/x - 1} \right). \quad (17)$$

Формула (17) дозволяє оцінити похибку нелінійності різницево-реляційного оператора корекції ψ . З графіків, отриманих у роботі зроблено висновок, що не залежно від кількості доданків ДРФП та величини коефіцієнтів a_i значення тестових впливів для зменшення похибки нелінійності необхідно вибирати якомога меншими відносно значень вимірюваних сигналів. Величина тесту обмежується можливостями блоку формування тестів та розрядністю АЦП.

П'ятий розділ присвячений розробці системи тестового контролю технологічного процесу на основі вимірювання електричних сигналів. Наукові результати, отримані у розділі 3, дозволили розробити та впровадити на СОВ

«Серп та молот» систему тестового контролю характеристик вимірювальних каналів, які у якості первинних перетворювачів мають ємнісний вимірювач рівня металу (сплав ЦАМ 4 – 1) у автоматичній ливарній машині. Від точності роботи ємнісного давача залежить якість виробленої деталі. При недолив металу у пресформу виникають порожнини (брак деталі), а перелив металу призводить до зайвих матеріальних витрат. Контроль рівня металу дає можливість підвищити кількість якісних деталей. У розділі описано технологічний процес розливу металу та виготовлення деталей а також наведено функціональну схему автоматичної ливарної машини.

Алгоритм тестового контролю передбачає одне основне вимірювання електричного вихідного сигналу на виході ємнісного давача та два вимірювання після проведення тестів.

Розрахункова оцінка вимірюваної величини \hat{x} знаходиться за формулою

$$\hat{x} = \frac{y_2 - y_0}{y_0 - y_1} \cdot \theta, \quad \hat{x} = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{01}} \theta = \psi \cdot \theta,$$

де ψ – реляційно-різницева модель оператора корекції.

По результатам тестового контролю робиться висновок про придатність давача до подальшої експлуатації та, при необхідності, вводиться корекція значень вхідного сигналу. Впровадження системи тестового контролю дозволило підвищити точність вимірів по ємнісному каналу на 15%.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено рішення науково-практичної задачі підвищення точності ЕВП шляхом тестових випробувань при бездемонтажному контролі у робочих режимах на основі використання теорії реляційно-різницевого оператора корекції. Вони дозволяють здійснювати тестовий контроль ЕВП одночасно з дією вхідного сигналу. У роботі подальший розвиток отримала теорія структурно-алгоритмічних методів підвищення точності, а саме, методів корекції результатів вимірювання ЕВП без зміни ФП шляхом визначення узагальнених функціональних реляційно-різницевого оператора корекції вхідних сигналів.

Основні висновки за результатами роботи.

1. Доведено, що тестові методи підвищення точності для ЕВП з ДРФП дозволяють корегувати результати вимірювання вхідного сигналу лише за умови формування адитивних тестових впливів однакової величини, але різних за знаками або однакових за знаками, але різної величини. Мультиплікативні та змішані адитивні і мультиплікативні тести не дозволяють визначити оцінку дійсного значення вхідного сигналу ЕВП.

2. Вирішено задачу оцінки похибок нелінійності для узагальнених моделей ДРФП при обмеженні моделі першими двома членами ряду. Розроблено метод оцінки похибки нелінійності ДРФП узагальненою гіперболою. Ця похибка залежить від значень параметрів a_i ДРФ і співвідношення тестового впливу і сигналу $\gamma = \theta/x$. Метрологічні властивості

оператора корекції обумовлюються значеннями похибок параметрів a_0 та a_1 ДРФП. Наведені чотирьохквadrантні діаграми дозволяють визначити параметр Ψ для корекції вхідних сигналів ЕВП.

3. Проведений аналіз метрологічних характеристик при корекції систематичних похибок ЕВП з поліноміальною ФП показав, що використання формування тестових сигналів поблизу номінальної та робочої точок шкали є обґрунтованим. При цьому РРМ «лінеаризується» за рахунок використання співвідношення робочого і номінального вхідного сигналів, а її похибка нелінійності зменшується. Так, наприклад, при обмеженні функції поліному парними степенями похибка δ_H не перевищує значення 0.15 % для $\theta = 0.1 \cdot x$, а при $\theta = 0.2 \cdot x$ похибка нелінійності $\delta_H < 0.35$ %. Завдяки використанню реляційно-різницевих операторів корекції відмічається стабілізація функції перетворення ЕВП. Так, наприклад, припускаючи зміну коефіцієнтів полінома на відносну величину 10%, можна відмітити, що використання РРМ дозволяє стабілізувати ФП до 0.2%.

4. Зменшення похибки нелінійності відбувається при умові $\delta_H \ll 1$. Так, наприклад для значень $x \leq 0.1 \cdot a_1$, $y \geq 11 \cdot a_0$ – це діапазон максимальних чутливостей. Мінімальне значення x визначається технологічними вимогами на границі зони контролю. Для зменшення похибки нелінійності значення тестових впливів необхідно вибирати якомога меншими відносно значень вимірюваних вхідних сигналів.

5. Вирішено задачу синтезу системи контролю ЕВП з ДРФП за критерієм заданої точності. Розроблено інженерний метод визначення параметрів систем тестового контролю, що дозволяє за заданою точністю вимірювань отримати кількість необхідних розрядів АЦП, або вирішити зворотню задачу і розрахувати точність системи за заданою розрядністю АЦП.

6. Результати роботи впроваджено на ТОВ «Серп та молот» (м. Харків), на ВАТ «ХТЗ» (м. Харків) та в навчальний процес кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем НТУ «ХПІ».

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Опришкіна М. І. Оцінка впливу дрейфу характеристик аналогової компоненти на її динамічну похибку / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2002, – № 9. – с. 103-106.

Здобувачем особисто отримані аналітичні співвідношення, які дають змогу оцінити виграш по дисперсії результуючої похибки при корекції часових дрейфів статичних параметрів вимірювальних перетворювачів.

2. Опришкіна М. І. Реляційно-разностные модели средств измерений при организации метрологического эксперимента / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2002, – №. 18 – с. 65-68.

Здобувачем особисто запропоновані моделі операторів корекції вхідних сигналів для засобів вимірювання з лінеаризованими функціями перетворення.

3. Опришкіна М. І. Оцінка параметрів систем тестового контролю з урахуванням систематичної похибки реляційно-різницевих моделей / С. І.

Кондрашов, М. І. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2003, – № 7, Т. 3. – с. 89-94.

Здобувачем особисто проведено розрахунок констант моделей систем тестового контролю для семи типів реляційно-різницевих операторів корекції.

4. Опришкіна М. І. Розрахунок похибок нелінійності реляційно-різницевих операторів корекції похибок вимірювальних перетворювачів / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2003, – № 21. – с. 91-96.

Здобувачем особисто отримані оператори корекції при тестовому контролі вимірювальних перетворювачів з нелінійними поліноміальними моделями, які дозволили зменшити похибку нелінійності результатів вимірювання.

5. Опришкіна М. І. Підвищення точності вимірювальних перетворювачів з нелінійними функціями перетворення при тестовому контролі / Є.Т. Володарський, С.І. Кондрашов, М.І. Опришкіна // Український метрологічний журнал. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – № 1. – 2004, – с. 52-57.

Здобувачем особисто проведено оцінку похибки нелінійності вхідного сигналу вимірювального перетворювача при здійсненні тестових впливів для лінеаризованої поліноміальної функції перетворення.

6. Опришкіна М. І. Реляційно-різницеві моделі операторів корекції вимірювальних перетворювачів з дробово-раціональними функціями перетворення / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2005, – № 7. – с. 77-80.

Здобувачем особисто визначено види тестових впливів, що дозволяють здійснити корекцію вхідних сигналів при тестовому контролі дробово-раціональних функцій перетворення.

7. Опришкіна М. І. Исследование линеаризирующих свойств реляционно-разностных моделей / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2005, – № 17. – с. 47-50.

Здобувачем особисто проведено аналіз лінеаризуючих властивостей операторів корекції, показано вплив методичної похибки на результат вимірювання та побудовані графічні залежності цієї похибки.

8. Опришкіна М. І. Методи динамічного і статичного тестового контролю компонент вимірювальних каналів / Ю. О. Скрипник, С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Український метрологічний журнал. – Харків. : ННУ "Інститут метрології". – № 1. – 2006, – с. 50-56.

Здобувачем особисто розроблено та описано структурну схему системи тестового контролю АЦП робочого каналу.

9. Опришкіна М. І. Дослідження похибки нелінійності реляційно-різницевих моделей при формуванні тестових впливів / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2006, – № 9. – с. 62-66.

Здобувачем особисто проведено аналіз властивостей тестових впливів при різних степенях наближення поліноміальної залежності.

10. Опришкіна М. І. Лінеаризація оператора корекції похибок вимірювального перетворювача методом гіпербол / С. І. Кондрашов, М. І.

Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2007, – № 36. – с. 49-53.

Здобувачем особисто побудовано чотириквADRантні діаграми визначення метрологічних властивостей операторів корекції для дробово-раціональних функцій перетворення.

11. Опришкіна М. І. Аналіз нелінійності реляційно-різницевого оператора тестової корекції для дробово-раціональних функцій перетворення / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2008, – № 56. – с. 115-120.

Здобувачем особисто проведено оцінку похибки нелінійності оператора корекції вхідного сигналу шляхом використання методу лінеаризації, що передбачає розкладання функції у ряд Тейлора.

12. Опришкіна М. І. Тестовий метод підвищення точності електричних вимірювальних перетворювачів з нелінійними дробово-раціональними функціями перетворення / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Український метрологічний журнал. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – 2009, – № 2. с. 51-56.

Здобувачем особисто виконано функціональний аналіз РРМ операторів корекції похибок вимірювальних перетворювачів з нелінійною дробово-раціональною функцією перетворення. Побудовано графіки визначення метрологічних характеристик.

13. Опришкіна М. І. Метод визначення параметрів систем тестового контролю вимірювальних перетворювачів з дробово-раціональними функціями перетворення / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Український метрологічний журнал. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – 2010. – № 1. – с. 55-60.

Здобувачем особисто отримано функціональні оператори корекції для різних видів дробово-раціональних функцій перетворення та видів тестових впливів. Розраховано константу моделі та визначено її мінімум, що відповідає мінімальному значенню похибки нелінійності. Розроблено метод визначення параметрів систем тестового контролю, що мають у своєму складі вимірювальні перетворювачі з дробово-раціональними функціями перетворення.

14. Опришкіна М. І. Оцінка похибки нелінійності при тестовому контролі / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків. : НТУ "ХПІ". – 2011, – № 11. – с. 72-75.

Здобувачем особисто вирішена задача корекції дробово-раціональної функції перетворення при «лінеаризації» узагальненою гіперболою.

15. Опришкіна М. І. Підвищення точності компонент вимірювальних каналів методом тестового контролю / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Електроінформ. Lviv Publishing house "ELEKTROinform". – У 2-х частинах. – № 2. – 2007, – с. 21-24 ; № 3. – 2007, – с. 20-22.

Здобувачем особисто проведено розрахунки та побудовано логометричні графіки для визначення параметрів систем тестового контролю.

16. Опришкіна М. И. Оценка точности информационного канала с учетом изменения его динамических характеристик / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Сборник научных трудов по материалам 6-го молодежного форума "Радиоэлектроника и молодежь в XX веке" Харьков. : ХНУРЭ, – 2002, – часть 1 с. 227-228.

Здобувачем особисто проведено розрахунок похибок вхідних сигналів вимірювальних перетворювачів при нестабільних параметрах вимірювального каналу.

17. Опришкіна М. І. Розробка алгоритму статичного тестового контролю лінійної аналогової компоненти з метою формування її базової метрологічної моделі / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Наук. праці ІІ МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка" у 2-х томах. Т.2. – Харків. : ХДНДІМ, 2002. – с. 206-208.

Здобувачем особисто отримані аналітичні співвідношення, що визначають похибку неадекватності моделі визначення оцінки вхідного сигналу.

18. Опришкіна М. І. Задачі лінеаризації і стабілізації реляційно-різницевих операторів корекції похибок нелінійних вимірювальних перетворювачів / Є.Т. Володарський, С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Наук. праці МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2004)" у 2-х томах. Т. 2. – Харків. : ННУ "Інститут метрології", 2004. – с. 280-282.

Здобувачем особисто розраховано невиключену систематичну складову похибки нелінійності при використанні адитивних тестових впливів для вимірювальних перетворювачів з поліноміальною моделлю.

19. Опришкіна М. І. Визначення похибки вимірювання вхідного сигналу вимірювальних перетворювачів з урахуванням похибок нелінійності РРМ оператора корекції / С. І. Кондрашов, Т. В. Чуніхіна, М. І. Опришкіна // Наук. праці МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2004)" у 2-х томах. Т. 2. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології", 2004. – с. 304-306.

Здобувачем особисто визначено параметри системи тестового контролю відповідно до методики оцінки розмірно-невизначеної складової похибки нелінійності.

20. Опришкіна М. І. Тестовые методы исключения систематических погрешностей из результатов измерений / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Сборник научных трудов по материалам 2-го международного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития МРФ-2005" Т. VII МК МИТ. – Харьков. : АНПРЭ, ХНУРЕ. – 2005. – с. 87-90.

Здобувачем особисто проведено аналіз метрологічних властивостей оператора корекції та зроблені теоретичні узагальнення отриманих результатів.

21. Опришкіна М. І. Реперные реляционно-разностные модели в задачах коррекции систематических погрешностей / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Сборник научных трудов по материалам 2-го международного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития МРФ-2005" Т. VII МК МИТ. – Харьков. : АНПРЭ, ХНУРЕ. – 2005. – с. 102-105.

Здобувачем особисто проведено аналіз стабілізуючих властивостей реляційно-різницевих операторів корекції, проведено розрахунки та побудовано графіки зміни коефіцієнтів поліноміальної функції.

22. Опришкіна М. І. Лінеаризуючі та стабілізуючі властивості реляційно-різницевих шкал / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Збірник наукових праць за матеріалами 10-го молодіжного форуму "Радиоелектроніка і молодь в ХХІ

ст." – Харків. : ХНУРЕ. – 2006. – с. 434.

Здобувачем особисто розглянуто лінеаризуючі властивості реляційно-різницевих операторів на прикладі платинового термометру опору. Показано, що похибка нелінійності не перевищує 0,008 %.

23. Опришкіна М. І. Функціональний аналіз РРМ оператора корекції похибок ВП з нелінійною дробово-раціональною функцією перетворення / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Наук. праці V МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка" (Метрологія-2006) у 2-х томах. Т.2. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – 2006. – с. 368-371.

Здобувачем особисто проведено метрологічний аналіз операторів корекції для вимірювальних перетворювачів з дробово-раціональними функціями перетворення, отримано аналітичне співвідношення для оператора ψ та побудовано графіки функції перетворення при зміні коефіцієнтів.

24. Опришкіна М. І. Лінеаризація оператора корекції похибок вимірювального перетворювача методом гіпербол / С. І. Кондрашов, Ю. О. Скрипник, М. І. Опришкіна // VI МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-2008)" Праці конференції у 2-х томах. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – 2008. Т.2. – с. 297-300.

Здобувачем особисто отримано аналітичне співвідношення для оцінки похибки нелінійності при квадратичному наближенні.

25. Опришкіна М. І. Тестовий контроль вимірювальних перетворювачів з дробово-раціональною функцією перетворення / М. І. Опришкіна, Є. В. Шоломій // XIX МНТК "Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я". Тези доповідей. – Харків, НТУ "ХПІ". – 2011р. – с.123.

Здобувачем особисто проведено розрахунок констант моделей для визначення параметрів систем тестового контролю при різних видах функціональних операторів корекції.

26. Опрышкина М. И. Повышение точности измерений преобразователей с дробно-рациональными функциями преобразования. Матріали міжнародної наук.-техн. конференції "Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення" СевНТУ – 2011. – С. 188.

27. Опришкіна М. І. Математические реляционно-резонансные модели погрешностей систем тестового контроля / С. И. Кондрашов, М. И. Опрышкина, Е. А. Ганюкова // XXV Международная научная конференция "Математические методы в технике и технологиях ММТТ-25". Сб. научн. трудов. – 2012 Т. 9. – с. 216.

Здобувачем особисто отримані узагальнені моделі операторів корекції для різних структур нелінійних функцій перетворення.

28. Опришкіна М. І. Методика аналізу похибок нелінійності операторів корекції / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // VIII Міжнар. наук.-тех. конф. "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2012)". Тези доповідей. Харків: ННЦ "Інститут метрології" – 2012. – С. 624-627

Здобувачем особисто розроблено методика аналізу похибок нелінійності операторів корекції для давачів з нелійними дробово-раціональними функціями перетворення.

АНОТАЦІЇ

Опришкіна М. І. Тестовий метод підвищення точності електричних давачів з нелінійними функціями перетворення. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.05 – прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2013.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню задачі підвищення точності вимірювання електричних вимірювальних перетворювачів (ЕВП) з нелінійними функціями перетворення засобами вбудованого тестового контролю. Бездемонтажний тестовий контроль дозволяє отримувати оцінку значень вхідних сигналів контрольованого засобу вимірювання без його демонтажу з об'єкту експлуатації та зупинки роботи технологічного процесу. У роботі подальший розвиток отримала теорія тестових методів підвищення точності стосовно ЕВП що мають нелінійну поліноміальну та дробово-раціональну функції перетворення; проведено аналіз лінеаризуючих та стабілізуючих властивостей реляційно-різницевого операторів корекції вхідних сигналів для таких ЕВП.

Доведено, що оператори корекції для давачів з нелінійними функціями перетворення дозволяють корегувати результати вимірювання вхідного сигналу лише за умови формування адитивних тестових впливів однакової величини та різних за абсолютною величиною, або однакових за знаками та різної величини. Запропоновано метод квазілінеаризації дробово-раціональної функції перетворення узагальненою гіперболою, що дозволяє вирішити задачу корекції та оцінити похибки нелінійності дробово-раціональних функцій перетворення.

Розроблено інженерний метод визначення параметрів систем тестового контролю, який дозволяє за заданою точністю вимірювань отримати кількість необхідних розрядів АЦП, або вирішити зворотню задачу і розрахувати точність системи за заданою розрядністю АЦП.

Результати дисертаційної роботи були використані у навчальному процесі на кафедрі "Інформаційно-вимірювальні технології і системи".

Ключові слова: електричні вимірювальні перетворювачі, методи підвищення точності, тестовий контроль, дробово-раціональна функція перетворення, метрологічні характеристики, реляційно-різницева моделі операторів корекції, похибка нелінійності.

Опрышкина М. И. Тестовый метод повышения точности электрических датчиков с нелинейными функциями преобразования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.05 – приборы и методы измерения электрических и магнитных величин. Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2013.

Диссертационная работа посвящена решению задачи повышения

точности измерения электрических измерительных преобразователей (ЭИП) с нелинейными функциями преобразования средствами встроенного тестового контроля.

В процессе эксплуатации технологических объектов на точностные характеристики ЭИП влияют как внешние, так и внутренние дестабилизирующие факторы. Возникает проблема утраты информации, снижения уровня ее достоверности вследствие постепенного изменения метрологических характеристик. Бездемонтажный тестовый контроль позволяет получить оценку действительных значений входных сигналов контролируемого средства измерения без его демонтажа с объекта эксплуатации и остановки работы технологического процесса путем введения тестовых воздействий.

В работе дальнейшее развитие получила теория тестовых методов повышения точности относительно ЭИП, которые имеют нелинейную полиномиальную и дробно-рациональную функции преобразования.

Анализ известных систем тестового контроля для ЭИП с нелинейными функциями преобразования показывает, что определение оценки действительного значения измеряемой величины осуществляется с помощью безразмерных операторов коррекции. Эти операторы получили название реляционно-разностных операторов коррекции значений входных сигналов. Они представляют собой отношение двух разностей первого порядка, где разность первого порядка рассчитывается как приращение выходного сигнала после тестового воздействия. В работе проведен анализ линеаризирующих и стабилизирующих свойств реляционно-разностных операторов коррекции входных сигналов для таких ЭИП.

В работе рассмотрена возможность применения методов тестового контроля для первичных преобразователей, которые имеют нелинейную дробно-рациональную функцию преобразования. Доказано, что операторы коррекции позволяют получить оценку входного сигнала при условии формирования аддитивных тестовых воздействий двух типов: одинаковой величины и разных по знаку, или одинаковых по знаку, но разной величины. Установлено, что мультипликативные и комбинированные тесты не позволяют определить оценку действительного значения входного сигнала. Предложен метод квазилинеаризации дробно-рациональной функции преобразования обобщенной гиперболой, что позволяет решить задачу коррекции и оценить погрешности нелинейности. Получены расчетные соотношения для определения погрешности нелинейности функциональных операторов, обусловленной нелинейностью функции преобразования и нелинейностью, вызванной реляционной моделью оператора.

Проведено исследование функциональных операторов коррекции как результатов нелинейных косвенных измерений. Определена константа модели, представляющая собой точность тестового контроля при однократном измерении. Полученные расчетные формулы показали, что для повышения точности измерений необходимо минимизировать константу выбранной модели. Разработан инженерный метод определения параметров систем

тестового контроля, который позволяет решить задачи синтеза и анализа систем тестового контроля: по критерию заданной точности измерений получить количество необходимых разрядов АЦП, или решить обратную, более часто встречающуюся на практике, задачу и рассчитать точность системы по заданной разрядности АЦП.

Результаты диссертационной работы были использованы в учебном процессе кафедры “Информационно-измерительные технологии и системы”.

Ключевые слова: электрические измерительные преобразователи, методы повышения точности, тестовый контроль, дробно-рациональная функция преобразования, метрологические характеристики, реляционно-разностные модели операторов коррекции, погрешность нелинейности.

Oprishkina M. I. The test method to improve the accuracy of the electrical sensors with non-linear transfer functions. – A manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences in specialty 05.11.05 – instruments and methods of electrical and magnetic quantities measurement. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2013.

The thesis is devoted to solving the problem of increasing the accuracy of measurement of electrical measuring converters with non-linear transfer functions by means of built-in test control.

Not demount test control allows to measure the actual values of the input signals controlled measuring instruments without removing it from the site of operation and stop the operation of the process through the introduction of test inputs.

The work was further developed the theory of test methods to improve the accuracy concerning electric measuring converters that have a non-linear polynomial and rational functions of transformation. The linearizing and stabilizing properties of the relational-difference operators correcting input was analysed.

It is proved that the operators can obtain an estimate of the correction input signal of the formation test additive effects of two types of the same size and opposite signs or identical sign, but different magnitude. Found that the multiplicative and combined tests do not allow to determine the estimation of the actual value of the input signal. We propose a method of quasi-linearization a rational transfer function of a generalized hyperbole that can solve the problem of error correction and assess the nonlinearity.

Designed engineering method of determining the parameters of test control systems, which allows us to solve the problem of synthesis and analysis of test control systems: by the specified accuracy of measurements to obtain the necessary number of ADC bits, or to solve the inverse is more often encountered in practice, the problem and calculate the accuracy of the system for a given bit ADC.

The key words: electric measuring transducers, methods to improve the accuracy, test control, fraction of a rational function transformation, electrical measuring converters, metrological characteristics, relational-differential operators correction model, the error nonlinearity.