

МАТРИЧНИЙ МАГНІТНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ ДАВАЧ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

© Микола Грiнь, Володимир Гальченко, 2005

Луганський державний медичний університет,
кв. 50-річчя оборони Луганська, 1, 91045, Луганськ, Україна

Запропоновано новий підхід до проектування давачів лінійних переміщень, система обробки сигналу яких ґрунтується на теорії розпізнавання образів. Підхід, що використано, дає змогу децjo спростити конструкцію намоткової частини давача. Наведені результати численних експериментів, які свідчать про високу заводо захищеність та чутливість давача.

Предложен новый подход к проектированию датчиков линейных перемещений, система обработки сигнала которого основана на теории распознавания образов. Подход, который использован, позволяет несколько упростить конструкцию обмоточной части датчика. Приведены результаты численных экспериментов, которые свидетельствуют про высокую помехозащищенность и чувствительность датчика.

The new approach of designing the linear displacement transducers, system of processing the signal is founded on theories of artificial perception is offered. The approach, which is used, allows several simplify in winding part of transducer. Results of numeric experiments is broughted, which witness about high noiseproof factor and sensitivity of transducer.

Останнім часом досить велику увагу дослідники приділяють проектуванню параметричних “польових” давачів, в яких як змінний параметр використовують розподіл електромагнітного поля у просторі або у часі. Істотні переваги давачів цього типу наведені у роботах [1–4]. Найпоширенішими та найуніверсальнішими серед відомих є давачі лінійних переміщень (ДЛП), що характеризуються лінійною або іншою функціонально залежною функцією перетворення [2, 3].

Принцип роботи таких давачів базується на вимірюванні магніточутливим елементом (МЧЕ) магнітного поля, розподіл якого вздовж траєкторії переміщення МЧЕ визначає функцію перетворення давача. Потрібний розподіл поля забезпечується у результаті синтезу магнітного поля у робочому об’ємі давача [5–8].

Але проектування давачів, які характеризуються доволі високою чутливістю з використанням згаданого вище принципу дії, є достатньо складною задачею, що зумовлено неможливістю реалізації великого градієнта поля у робочій зоні давача. Давачі ж з низькою чутливістю є погано заводо захищеними. Бажаним також є

деяке спрощення конструкції давача, що складається з системи котушок з певними намотковими даними. Крім цього, треба зауважити, що у відомих конструкціях ДЛП вимірювання значень магнітного поля виконують на осі системи котушок [2, 9], яка не є найінформативнішою зоною у просторі магнітної системи давача, що ілюструє рис. 1.

На рис. 1 наведено розподіл відносних значень магнітного поля, що отримано як відношення значень напруженості магнітного поля у поточній точці до напруженості магнітного поля у початковій точці вимірюваного діапазону. По осі абсцис також було виконано нормування і 0 відповідає початковому положенню магніточутливого елемента, а 1 – кінцевому. Неважко зрозуміти, що зони, зміщені щодо осі, є інформативнішими і є сенс виконувати вимірювання саме в них.

Зважаючи на вищезгадане, для підвищення заводо захищеності та спрощення конструкції доцільно запропонувати таку конструкцію давача, яка зображена на рис. 2.

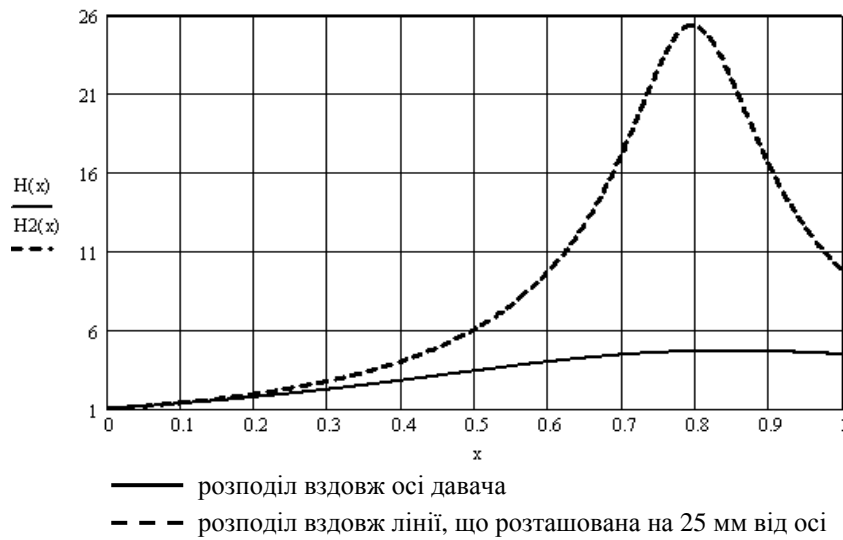


Рис. 1. Розподіл відносного значення аксіальної складової магнітного поля вздовж траєкторії переміщення магніточутливого елемента

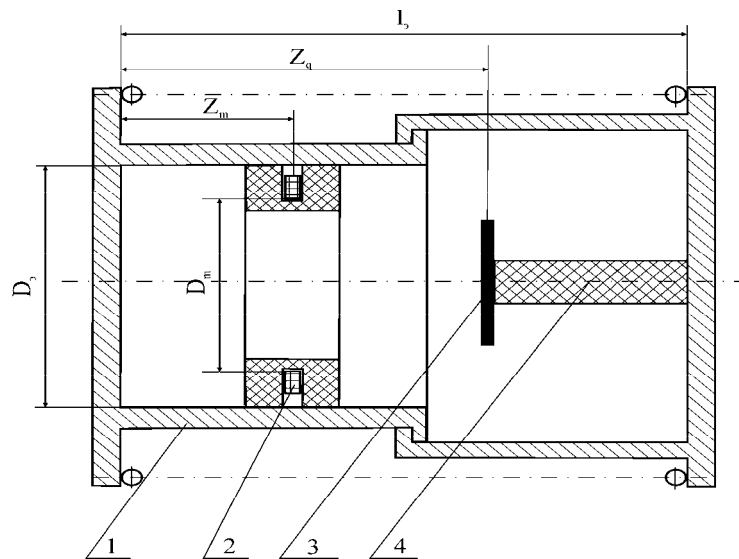


Рис. 2. Конструкція параметричного матричного функціонального давача лінійних переміщень

Магнітна система давача складається з телескопічного феромагнітного циліндричного корпусу 1, який одночасно виконує функції екрана, та однієї несиметрично розташованої відносно торців екрана котушки 2, що є джерелом інформаційного магнітного поля. Немагнітний шток давача 4 із закріпленим на ньому матричним магніточутливим елементом (ММЕ) 3, може переміщуватися як у зоні перед котушкою, так і у зоні за нею, проходячи через отвір джерела магнітного поля. ММЕ фіксує топографію магнітного поля у перерізі давача, який визначається положенням

кінця штоку. Оцінюють розподіл магнітного поля та його локальних неоднорідностей у результаті багаточисельних вимірювань за допомогою матричного мікроперетворювача, що виконаний на основі інтегральної технології, тобто застосовано магнітовізор для топографування магнітного поля [10]. Несиметричне розміщення котушки забезпечує унікальний розподіл поля у перерізі давача у будь-якій точці вимірюваного діапазону. Можливим також є використання замість котушки сталого магніту у формі кільця, що зменшує кількість провідників, які підходять до давача.

Багатоточкові виміри значень магнітного поля зумовлюють високу надійність, інформативність та завадозахищеність ДЛП. Висновок щодо лінійного переміщення штока роблять, проаналізувавши картину поля у кожній поточній точці засобами теорії розпізнавання образів. Навчання системи обробки даних виконується з наперед заданою розрізняювальною здатністю давача переміщення. Вид функції перетворення давача може бути визначений встановленням співвідношень між картиною поля у кожному перерізі давача із заданою дискретністю та лінійним переміщенням штока. Робочий простір біля джерела магнітного поля, що підлягає контролю та вимірюванню, розподілено на ряд перерізів, кожний з яких представлений двокоординатною площиною матриці $M \times N$ елементів.

Як базовий алгоритм системи розпізнавання магнітних образів використовують алгоритм Юра-Фосслера, що детально описаний у [11], та який є прийнятним для розв'язання задач розпізнавання чорнобілих зображень. Тому в алгоритм внесені певні зміни, які дали змогу розширити спектр оброблюваних даних також і на напівтонові зображення. Основна ідея модифікації полягає в заміні порівняння ділянок зображень порівнянням їхніх вейвлет-образів [12] і використання методу потенціальних функцій [13] як методу визначення близькості досліджуваного образу до еталонного. Як базові вейвлети використано перетворення Хаара як найменш вимогливе до обчислювальних ресурсів. За докладнішим описанням внесених до алгоритму змін можна звернутись до [14].

Метою подальших досліджень є виявлення засобами числового моделювання переваг запропонованої конструкції давача. Демонстрація роботи давача з діапазоном вимірів лінійних переміщень 0–44 мм може бути виконана на математичній моделі. При моделюванні геометричні розміри магнітної системи становили: внутрішня довжина екрана 100 мм, внутрішній радіус 35 мм. Як вже згадувалось, котушка, що створює інформаційне магнітне поле, повинна бути розташована несиметрично щодо торців екрана, у описаних численних експериментах вона розташовувалася в 25 мм від рухливої стінки екрана. Для збільшення робочого діапазону і виключення можливості деформації й ушкодження ММЕ в крайньому положенні давача довжина штока дорівнювала 40 мм. Як вихідний сигнал ММЕ використана матриця 30×30 , кутові елементи якої розташовані на відстані 25 мм від осі. У такий спосіб, враховуючи описану геометрію давача, за відомими спів-

відношеннями для напруженості магнітного поля була одержана навчальна вибірка. У цих співвідношеннях I_0, I_1, K_0, K_1 – модифіковані функції Бесселя та Ганкеля нульового та першого роду, $Z_0(\gamma r_s) = K_0(\gamma r_s) / I_0(\gamma r_s)$, r_s, l_s – радіус та довжина екрана, r_m, z_m, r_q, z_q – радіальна та аксіальна координати котушки та точки вимірювання, $I = I_e \omega$ – МДС еквівалентного контуру [15]. Оскільки підсумовування нескінченного ряду Фур'є є некоректно поставленою задачею, при обчислюванні здійснювалась регуляризація за кількістю членів ряду [16]. У набір бібліотечних образів були включені зображення розподілу магнітного поля в перетині давача з дискретністю в 1 мм для всіх можливих його положень. У навчальну вибірку поряд з ідеальними картинами поля було додатково включено по два зображення для кожного положення давача, з накладеним на них білим шумом з 10% рівнем від максимального значення сигналу. Такий підхід забезпечує істотне поліпшення параметрів функціонування давача у реальних умовах виробництва, що характеризується високим рівнем електромагнітних завад. У таблиці наведено результати вимірів давача, система обробки сигналу якого базується на теорії розпізнавання образів. Вимірювання положення ММЕ моделювалося представленням до обробки шести тестових картин розподілу поля.

$$H_z = 2I_e^{-1} \times \left[0.5m'_z + r_m \sum_{n=1}^{\infty} (\gamma \cos(\gamma z_m - \gamma l_s) \cos(\gamma z_m - \gamma l_s) m''_z) \right] \quad (1)$$

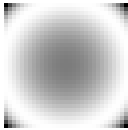
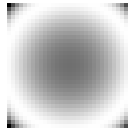
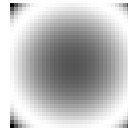
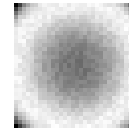
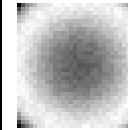
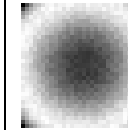
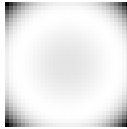
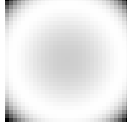
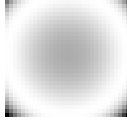
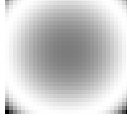
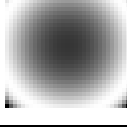
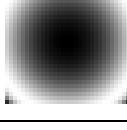
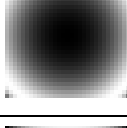

де

$$m'_z = \begin{cases} 1; & n p u \quad 0 \leq r_q \leq r_m \\ 0; & n p u \quad r_m \leq r_q \leq r_s \end{cases}$$

$$m''_z = \begin{cases} I_0(\gamma r_q) [K_1(\gamma r_m) + I_1(\gamma r_m) Z_0(\gamma r_s)] & n p u \quad 0 \leq r_q \leq r_m \\ I_1(\gamma r_m) [-K_0(\gamma r_q) + I_0(\gamma r_q) Z_0(\gamma r_s)] & n p u \quad r_m \leq r_q \leq r_s \end{cases}$$

$$\gamma = \frac{\pi n}{l_s} \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

Результати вимірювань ДЛП

№	Положення ММЕ, мм	Магнітний образ	Положення ММЕ, мм					
			25	25,25	25,5	25	25,25	25,5
			Магнітні образи, які представлено					
			1	2	3	4	5	6
								
1	22		0	0	0	0	0	0
2	23		2.581E-74	1.94E-116	7.23E-206	1.142E-73	5.95E-115	1.36E-205
3	24		2.505E-4	1.213E-9	1.868E-24	1.677E-4	1.831E-9	1.96E-24
4	25		1	0.9904	0.6232	0.9999	0.9899	0.6183
5	26		3.15E-5	0.0226	0.6006	2.28E-5	0.0184	0.588
6	27		2.7E-102	1.896E-64	2.1E-30	1.3E-103	1.1E-65	1.276E-30
7	28		0	0	6.8E-296	0	0	5.9E-297
8	44		0	0	4.1E-149	0	8.1E-251	1.2E-149

Внесені у таблицю магнітні образи, що ставляться у відповідність положенню ММЕ, були отримані обчисленням відповідно до (1). Для підвищення наочності представлених даних було зроблено нормування в межах площини зображення, де максимальне значення напруженості поля – абсолютно білий, а мінімальне – чорний колір. У стовпчиках 1–6 містяться значення потенціальної функції, що відображають ступінь збігу досліджуваного об'єкта з еталонним, де 1 – повний збіг, 0 – повна невідповідність. Значення потенціальної функції і визначають результати вимірів ДЛП. Для скорочення обсягів публікації з таблиці були вилучені деякі позиції, значення потенціальної функції для яких дорівнюють нулеві. З першого до третього стовпчика представлені зображення, у яких відсутній шум, для положення ММЕ 25, 25.25 і 25.5 мм відповідно. Позиції, що відповідають 25, 25.25 мм, віднесені системою обробки сигналу до четвертого рядка, який відповідає положенню 25 мм. Для положення 25.5 мм значення потенціальної функції для рядків, що відповідають 25 і 26 мм, приблизно рівні, тому вибір відповідного значення переміщення є рівноймовірним. Наявність 10 % шуму в образах, що наведені у стовпчиках 4–6, які відповідають тим самим позиціям, що і попередні три, практично не відображається на результатах класифікації, а відповідно і вимірів ДЛП. Це дає змогу говорити про високу надійність і завадозахищеність давача, який побудовано за допомогою запропонованого підходу.

Час, який потребує система обробки сигналу для аналізу вимірювальних параметрів, становить для бібліотеки із 44 магнітних образів відповідно 10 мс. Розрізняльна здатність ДЛП такого типу може складати 0,25 мм.

Отже, безперечно є доцільність використання давачів, що запропоновано, у складі контрольно-вимірювальних систем, систем управління технологічними процесами та інших галузях виробництва.

Перспективним також є узагальнення запропонованого принципу дії ДЛП на ситуації, коли досліджувані об'єкти не можуть піддаватися конструктивним змінам,

якщо вони навіть викликані необхідністю монтажу давачів. Використання котушки, яка виконує функції джерела магнітного поля, та деяких феромагнітних елементів конструкції об'єкта дає змогу виконувати вимірювання з практично незмінною системою обробки сигналу також і в цих достатньо складних випадках.

1. Датчики и методы повышения их точности / А.В. Быценко, В.В. Яковенко, И.М. Сагайда, Я.Т. Луцук – К., 1989. 2. Яковенко В.В., Гальченко В.Я., Лойко А.В. Магнитный датчик линейных перемещений // Приборостроение. – 1990. – № 5. – С. 33–38. 3. Костров Д.С., Стеблев Ю.И. Синтез вихретоковых преобразователей линейных перемещений с периодическими выходными характеристиками // Дефектоскопия. – 1986. – № 10. – С. 63–70. 4. Яковенко В.В., Гальченко В.Я., Донская Л.В. Синтез катушки в магнитной системе датчика линейных перемещений // Электротехника. – 1990. – № 6. – С. 75–78. 5. Стеблев Ю.И., Макарычев С.В. Реализация синтезированных вихретоковых преобразователей перемещений с линейными выходными характеристиками // Дефектоскопия. – 1994. – № 5. – С. 43–51. 6. Яковенко В.В., Гальченко В.Я. Бондаренко В.Е. Синтез магнитных систем с дискретными источниками поля // Электротехника. – 1991. – № 8. – С.16. 7. Стоян Ю.Г., Путятин В.П. Размещение источников физических полей. – К., 1981. 8. Гальченко В.Я. Павлов О.К. Воробйов М.О. Нелинейный синтез магнитных полей возбуждения вихреструмовых перетворювачів дефектоскопів // Методи і прилади контролю якості. – 2002. – №8. – С. 3–5. 9. Павлов О.К., Гальченко В.Я. Нелинейный синтез функциональных давачів лінійних переміщень // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – № 61.– С. 96–100. 10. Системы комплексной электромагнитотерапии / Под ред. А.М. Беркутова, В.И. Жулеева, Г.А. Кураева, Е.М. Трошкина. – М., 2000. 11. Вычислительные машины и мышление. Сб. статей. – М., 1967. 12. Чуи Ч. Введение в вейвлеты. –М. 2001. 13. Айзерман М.А., Браверман Э.М., Розоноер Л.Т. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. – М., 1970. 14. Гринь Н.Ю., Гальченко В.Я. Совершенствование алгоритма распознавания двумерных сигналов с использованием дискретных вейвлет-преобразований Хаара // Материалы международной конференции “Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе (IT+SE'2003)”. – Запорожье. 2003. 15. Алиевский Б.Л., Орлов В.Л. Расчет параметров магнитных полей осесимметричных катушек. – М., 1983. 16. Калиткин Н.Н. Численные методы. – М., 1978.