

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕНЗОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ТА КОНТРОЛЮ

(Представлено к.т.н., проф. Грабаром І.Г.)

Запропоновано методику проектування та наведено приклади можливого використання у системах автоматики та контролю нових тензоперетворювачів для вимірювання фізичних величин (лінійних переміщень, деформації, сили, тиску), що побудовані на основі перколяційно-фрактальних середовищ типу “провідник–діелектрик”. Показано, за рахунок яких якісних відмінностей нові тензоперетворювачі здатні замінити вже існуючі.

Постановка проблеми. В теперішній час неможливо уявити будь-яку систему автоматизованого контролю без великої кількості датчиків, керуючих механізмів, блока керування. Точність вимірювання параметрів та надійність систем значною мірою залежать від їх основних елементів – датчиків. Розробка нових високопродуктивних технологій можлива за умови повної автоматизації технологічного циклу, що вимагає створення великої кількості різноманітних датчиків з відповідними функціональними можливостями та метрологічними характеристиками. Більшість з них використовують стандартні методи і способи перетворення механічних деформацій в електричні сигнали. Найбільш розповсюдженими є механічні, лазерні, оптичні, акустичні датчики. За останні двадцять років була видана велика кількість книг та наукових статей, присвячених питанням створення нових типів датчиків та їх використанню в різноманітних системах керування. Серед вітчизняних робіт варто виділити роботи Ларіна В.Б., Кваснікова В.П., Безвесільної О.М., Плечистого Д.Є. [1–3].

Одне з важливих місць у сучасних комп’ютеризованих системах контролю посідають засоби вимірювання лінійних переміщень і деформацій. Більшість існуючих засобів, маючи такі переваги, як малі розміри, мала вартість (датчики на основі тонких плівок), велика точність (напівпровідникові), мають обмежені бази виміру, невелику точність (датчики на основі тонких плівок), велику вартість (оптичні).

Аналіз останніх досліджень. При експериментальному дослідженні напружено-деформованого стану різних конструкцій при перетворенні деформації в електричний сигнал у різних вимірювальних пристроях дуже широко застосовуються виготовлені з дроту або фольги тензорезистори [4, 5]. Разом з тим, багато досліджень свідчать про більшу ефективність тензодатчиків на основі тонких плівок, хоча у випадку металевих плівок величина коефіцієнта поздовжньої тензочутливості значно менше, порівняно з напівпровідниковими, але останні мають малу термічну стійкість. Широке застосування тензодатчиків на основі тонких плівок [6] обумовлене тензо ефектом, що дає можливість підвищити ефективність датчиків, порівняно з дровими та фольговими. Із літературних даних відомо (наприклад [2]), що напівпровідникові плівкові датчики мають значні переваги перед металевими: великий коефіцієнт тензочутливості, лінійність деформаційної залежності, низький температурний коефіцієнт опору (ТКО), стійкість до магнітних полів і радіаційного випромінювання та ін. Поряд з цим вони мають певні недоліки, які пов’язані з їх хрупкістю, низькою температурною стабільністю, хімічною активністю, підвищеними вимогами до матеріалу контактів та методів їх формування. З огляду на це в окремих випадках металеві плівкові тензодатчики можуть виявитися більш ефективними порівняно з напівпровідниковими.

Виділення невирішених раніше частин проблеми. Існування широкого кола технічних завдань, багато з яких вимагають індивідуального підходу, накладає певні вимоги на засоби вимірювання, і тому не всі існуючі датчики та перетворювачі мають можливість їх вирішення. У зв’язку з цим постійно ведеться пошук альтернативних способів вимірювання деформацій та переміщень, що забезпечать більш якісні результати вимірювань: збільшення діапазону параметрів, що вимірюються; підвищення їх точності; покращення термічної та хімічної стійкості, а також зменшення вартості, можливо шляхом використання як чутливих елементів перетворювачів деформованих перколяційно-фрактальних середовищ типу “провідник–діелектрик”. Дані середовища дозволяють створювати надчутливі перетворювачі механічних величин з наперед заданими параметрами, такими як коефіцієнт чутливості, діапазон вимірювання, вид деформацій.

Тензоперетворювачі, побудовані на основі перколяційно-фрактальних середовищ типу “провідник–діелектрик”, є одним з найоптимальніших розв’язків задачі вимірювання лінійних деформацій. Дані середовища мають можливість змінювати свій опір при деформаціях 1–3 % в 10–10000 разів. При цьому існує можливість контролювати коефіцієнт чутливості через зміну концентрації електропровідної компоненти. Властивості теорії фазових переходів та критичних явищ дали змогу виявити залежності

вихідних параметрів середовища від вхідних. Так, доведено, що при наближенні ймовірності заповнення електропровідною компонентою до критичного значення P^* (0,59 – для плоскої та 0,31 – для об’ємної задачі) відношення опору тензоперетворювача в деформованому стані до початкового наближається до нескінченності [7–9].

Метою даної статті є проектування тензоперетворювачів заданих розмірів та заданої чутливості для конкретних умов роботи певних вузлів та агрегатів у системах автоматики та контролю.

Основний матеріал дослідження. Запропоновані тензоперетворювачі мають переваги, які відсутні в деяких, окремо взятих, тензоперетворювачах, що мають широке використання в сучасних системах автоматики та контролю. Новий тензоперетворювач може мати великі бази вимірювання (від 3–5 мм до 50–100 см), підвищену на декілька порядків чутливість (порівняно з плівковими), низьку собівартість (від 1 грн., залежно від розмірів). Дані перетворювачі мають можливість вимірювати деформації в трьох ортогональних напрямках. Окремі типи перетворювачів здатні запам’ятовувати прикладене зусилля як завгодно довго. Дана властивість пов’язана із здатністю терморозширеного графіту до спресовування, коли після зняття навантаження з перетворювача опір чутливого елемента залишається на певному рівні, причому даний рівень дозволяє судити про ступінь навантаження на перетворювач. Також існує можливість використання перколяційно-фрактальних чутливих елементів у медицині, для вимірювання деформацій шкіряного покриву.

Перколяційно-фрактальний чутливий елемент тензоперетворювача складається із суміші частинок провідник–діелектрик. Дана суміш знаходиться між підкладками еластичного діелектрика (рис. 1–2).

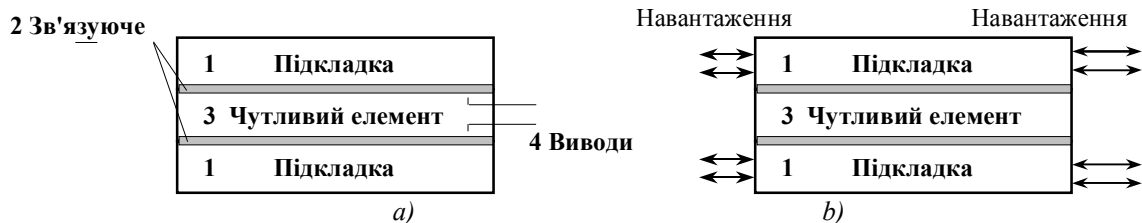


Рис. 1. Загальний вигляд датчика при навантаженні розтягом
а) до навантаження; б) після навантаження

При деформації змінюється площа підкладки, що призводить до зміни (переформування) ефективного значення концентрації P провідникової компоненти (збільшення площі при деформації підкладки при $P = \text{const}$ призведе до зменшення провідникової та збільшення діелектричної концентрації та навпаки).

Тоді при деформації підкладки в наближенні квазінезасмодіючих мікрочастинок залежність опору від концентрації провідникової компоненти та величини деформації матиме вигляд:

$$\bar{R}_\varepsilon = \left[\frac{1 - P^*}{\frac{P}{(1 + \varepsilon)(1 - \mu\varepsilon)} - P^*} \right]^v,$$

де \bar{R} та \bar{R}_ε – електричний опір перетворювача в недеформованому та деформованому станах відповідно, ε – деформація підкладки, μ – коефіцієнт Пуассона матеріалу підкладки, v – критичний індекс перколяційної системи (для двовимірної перколяції $v \sim 0,5$).

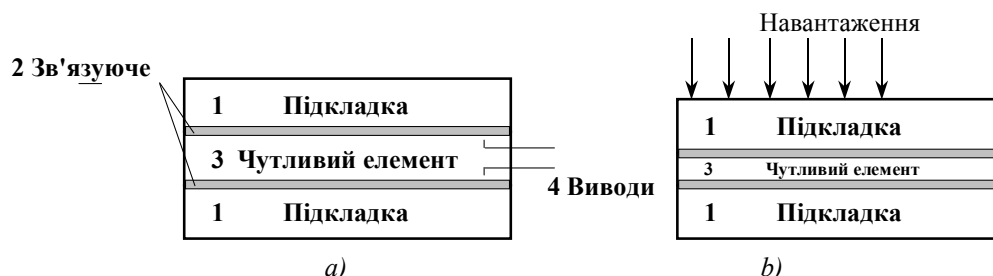


Рис. 2. Загальний вигляд датчика при навантаженні тиском
а) до навантаження; б) після навантаження

Як електропровідна компонента в перколяційно-фрактальних сумішах використовуються електропровідні порошки та сипучі матеріали, такі як металева стружка, металеві порошки, суміші на основі графітових матеріалів та ін. Найкраще для даних цілей зарекомендували себе терморозширений

графіт (ТРГ) та шунгіт. Даним матеріалам властиві такі позитивні якості, як термостійкість, хімічна стійкість, низький коефіцієнт тертя, електропровідність.

Для побудови нового тензоперетворювача за основу був взятий тензометричний пристрій професора Грабара І.Г. (Патент України № 39401А від 15.06.2001 р.) [11–12]. Запропонований новий тензоперетворювач дозволяє вимірювати деформацію в трьох ортогональних напрямках. Схема перетворювача наведена на рис. 3.

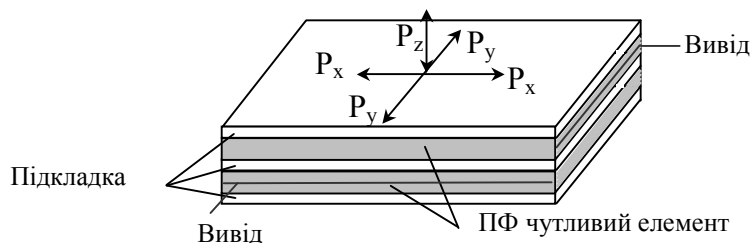


Рис. 3. Схема нового перколяційно-фрактального тензоперетворювача для вимірювання лінійних деформацій у трьох ортогональних напрямках

Як чутливий елемент використовується дво- та багатошарова конструкція перколяційно-фрактальної суміші провідник–діелектрик (ТРГ–гума). Тензоперетворювач закріплюється на поверхні, що досліджується. Вивідні контакти закріплюються з двох боків чутливого елемента. Один чутливий елемент сприймає деформації по осі X, інший – по осі Y. У випадку навантаження по осі Z працюють одночасно 2 чутливих елементи, що забезпечує більшу точність реєстрування і зменшує похибку. Умовою достовірності результатів показів при лінійних навантаженнях по осі X і Y є відсутність навантаження по осі Z і навпаки, оскільки в першому випадку опір чутливого елемента збільшується, а в другому – зменшується.

Робота перетворювача полягає в наступному: після деформування зразка, що досліджується, деформування підкладки і, відповідно, чутливого елемента відбувається перенормування перколяційно-фрактальної суміші провідник–діелектрик – опір чутливого елемента зменшується з величини R_0 до R_1 . Відношення R_1/R_0 при деформаціях чутливого елемента 1÷3 % складає 10÷5000 залежно від деформації і заданої чутливості.

Як діелектричну підкладку пропонується використовувати фторопласт [10]. Даний матеріал здатний витримувати лінійні деформації 1÷3 % при абсолютній відсутності ефекту релаксації, що притаманно таким матеріалам, як гума, шкіра, різні види поліетиленів.

Прикладом застосування нових тензоперетворювачів можуть бути випробування на злам зразків будь-яких матеріалів. У точках контакту зразка з опорами встановлюються перетворювачі тиску, які контролюють прикладене навантаження (рис. 4, ТП-4, 5, 6) та його розподіл на контактні опори. На поверхні зразка закріплюються тензоперетворювачі (рис. 4, ТП-1, 2, 3), що фіксують деформацію поверхні зразка. Дані перетворювачі можуть бути з'єднані в мостову схему. Використання нових перетворювачів у даних дослідженнях дозволить підвищити достовірність результатів вимірювань у 10–100 разів, порівняно з використанням стандартних засобів вимірювання.

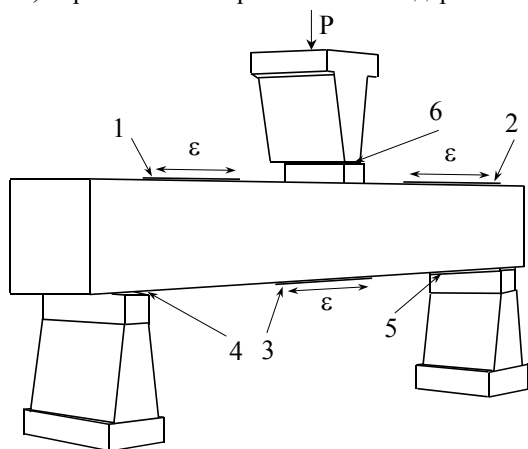


Рис. 4. Схема випробувань на злам: 1, 2, 3 – тензоперетворювачі деформації;

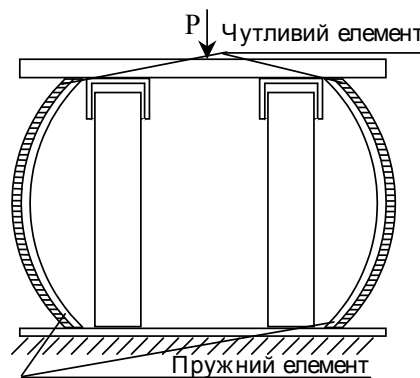
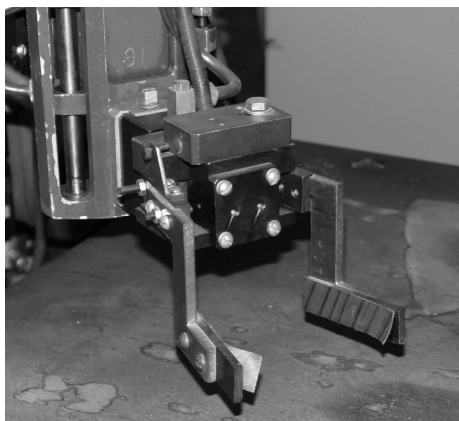


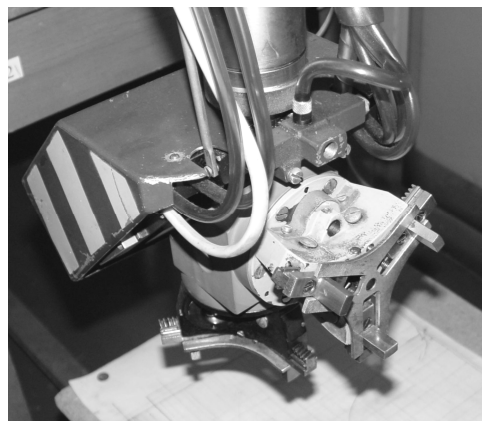
Рис. 5. Надчутливі ваги на основі ПФ чутливого елемента

4, 5, 6 – тензоперетворювачі тиску

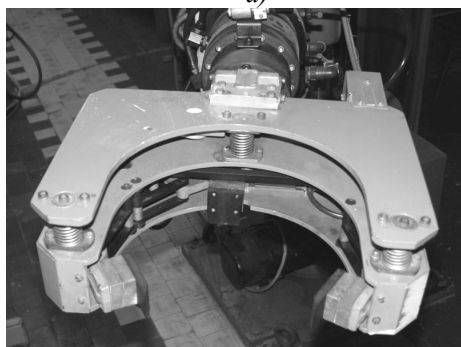
Іншим прикладом застосування надчутливих перетворювачів тиску можуть бути надчутливі ваги (рис. 5). Чутливий перколяційно-фрактальний елемент наноситься на пружні елементи (ресори). При здійсненні навантаження на поверхню вагів відбувається деформування ресор, а також деформування (видовження) чутливого елемента, що призводить до зміни опору чутливих елементів тензоперетворювача. Зміна фіксується електронним блоком обробки даних і виводиться на цифровий індикатор або на монітор. Для збільшення точності вимірів можливе використання двох і більше пружних елементів і перетворювачів, сигнал з яких буде усереднюватись. Для здійснення ідентичного навантаження на всі пружні елементи використовуються напрями, кількість яких може бути від одного і більше.



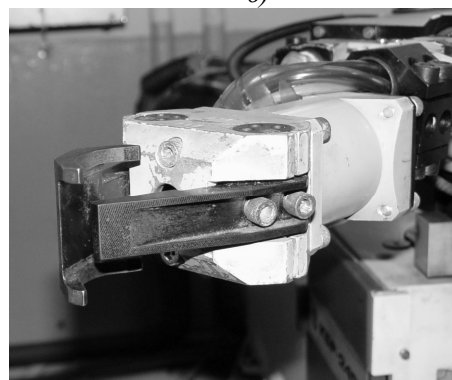
а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Щупи робота. Приклади застосування нових перетворювачів тиску та лінійних деформацій

Перколяційно-фрактальні тензоперетворювачі тиску можуть знайти своє застосування в автоматичних роботах. Дані перетворювачі можуть закріплюватись на щупи робота. Сигнал про навантаження на перетворювач поступає в блок обробки інформації робота, завдяки чому відбувається фіксація і контроль зусилля стискання об'єкта, не призводячи до дефектів поверхні матеріалу об'єкта, який переміщує робот (рис. 6, а–г).

Висновки. Розроблено методику проектування надчутливих тензоперетворювачів на основі перколяційно-фрактальних чутливих елементів з наперед заданими властивостями. Запропоновано можливі шляхи використання різних типів перколяційно-фрактальних тензоперетворювачів для вимірювання фізичних величин (лінійних переміщень, деформації, сили, тиску) в автоматизованих системах та в комп'ютеризованих технологіях.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ларін В.Б. Автоматизация управления и контроля в технических системах: Сборник научных трудов. – К.: Техника, 1989. – 196 с.
2. Плечистий Д.С. Датчики: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 354 с.

3. *Безвесильная Е.Н., Квасников В.П.* Технологические измерения и приборы: Преобразующие устройства приборов и компьютеризованных систем: Учебник. – Ж.: ЖДТУ, 2004. – 220 с.
4. *Раннев Г.Г., Тарасенко А.П.* Методы и средства измерений: Учебник. – М.: Академия, 2003. – С. 326–328.
5. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC / Под ред. У.Томпкинса и Дж.Уэбстера. – М.: Мир, 1992. – С. 364–369.
6. *Проценко С.І., Черноус А.М.* Дослідження і прогнозування тензорезистивних властивостей плівкових систем на основі Cr, Cu, Sc // *Металлические поверхности и пленки.* – 2003. – Т. 25. – № 5. – С. 587–601.
7. *Ivan Grabar, Yuri Kubrak.* Percolation-fractal sensors for strain measuring of bioobjects. Scientific reports of 15th International Scientific Conference Mittweida 7–11 November 2002 in Neue Entwicklungen in der Medizintechnik.
8. *Ivan Grabar, Yuri Kubrak.* Sensors with memory of a load on the basis of percolation-fractal systems // Scientific Reports, Journal of the University of Applied Sciences Mittweida, Innovative Produkt – und Prozessentwicklung. – Nr. 2, 2003.
9. *Грабар І., Кубрак Ю.* Деформовані перколяційно-фрактальні матеріали: новий клас надчутливих датчиків. *Mechanics 2004. Proceedings of the International Scientific Conference. Scientific Bulletins of Rzeszow University of Technology # 209. Mechanics 62. Rzeszow. June 2004.* – С. 81–85.
10. *Ханова Г.В.* Розробка фізико-технологічних основ одержання плівок сульфідів самарію для тензорезисторів і дослідження їх параметрів: Автореф. дис...канд.ф.-м.наук. – Київ, 2000. – 15 с.
11. Патент України № 39401А от 15.06.2001 г., Бюл. № 5.
12. Патент України № 73063А от 16.05.2005 г., Бюл. № 5.

КУБРАК Юрій Олександрович – доцент кафедри автомобілів та механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- перколяційні процеси;
- засоби вимірювання лінійних величин;
- синергетика;
- нанотехнології.

Подано 24.10.2007