

1. Антонов В. М. Сучасні комп'ютерні мережі. — К.: "МК-Прес", 2005. — 480 с, іл.
2. Алиев Т. М., А. А. Тер-Хачатуров, А. М. Шекиханов. Итерационные методы повышения точности измерений. - М.: Энергоатомиздат, 1986, — 168 с: ил.
3. Авдеев Б. Я., Антосюк Е. М., Долинов С. Н. и др. Адаптивные телеизмерительные системы. - Л.: Энергоиздат, 1981. -284 с.
4. Азжогин В.В., Згуровский М.З., Корбич Ю.С. Методы фильтрации и управления стохастическими процессами с распределенными параметрами. — К.: Высшая школа, 1998.
5. Баранов В. Я., Безновская Т. Х., Бек В. А. и др. Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник.; Под общ. ред. В. В. Черепкова. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1987. — 847- с, ил.
6. Бэнн Д. В., Фармер Е. Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки: Пер. с англ. —М.: Энергоатомиздат, 1987. -200 с: ил.
7. Сікора Л.С. Системологія прийняття рішень на управління в складних технологічних структурах.-Львів: Каменярь, 1998.-453с.

Поступила 20.02.2012р.

УДК 620.3, 621.3

А.І. Пукач, аспірант НУ “Львівська політехніка”, Львів,
В.М. Теслюк, д.т.н., професор, НУ “Львівська політехніка”, Львів,
Р.-А. Д. Іванців, к.т.н., доцент, НУ “Львівська політехніка”, Львів.

МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ МАЛИХ ВЕЛИЧИН ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

Abstract. We propose functional model of system for measuring small quantities of electrical resistance using technology of microelectromechanical systems (MEMS), the analysis and evaluation of the results was made, established regularities of distribution of residual voltage and variable resistance values throughout the whole working process of the measuring system.

Актуальність

Впродовж останніх років на світовому ринку електроніки все більше простежується тенденція до впровадження інтегральних пристроїв, виготовлених за технологією мікроелектромеханічних систем (MEMS) [1–5], які, на відміну від своїх макро-аналогів, володіють рядом переваг, таких як: простота інтегрування, мікронні розміри активних компонентів, надійність, низький рівень енергоспоживання, функціональність та ін. Проте такий стрімкий розвиток MEMS-технологій призвів до необхідності розв'язання нових задач, однією з яких є задача вимірювання малих змін величини електричного опору, що виникають при використанні мініатюрних активних компонентів, виготовлених за технологіями MEMS.

Аналіз проблеми

Серед існуючих методів та схем вимірювання величини невідомого електричного опору можна виділити ряд основних методів [14] та основні особливості з позиції їх придатності для розв'язання поставленої задачі вимірювання малих змін електричного опору. Метод вольтметра-амперметра [6, 7] є найбільш простим і може використовуватись для вимірювання швидких змін електричного опору, проте цей метод не враховує впливу з'єднувальних провідників та контактних площадок, а це є значним недоліком при використанні в МЕМС. Мостові методи [6, 8, 9] вимірювання електричного опору являють собою технічну реалізацію одного з варіантів методу зрівноважувального перетворення та базуються на основі схем одинарного та подвійного електричних мостів, дають змогу компенсувати вплив контактних площадок та з'єднувальних провідників та вимірювати електричний опір з високою точністю. Основним недоліком мостових методів є висока вимогливість до фіксації стану рівноваги електричного моста, проте взагалішому мостові методи доцільно використовувати для розв'язання поставленої задачі в пристроях, виготовлених за МЕМС-технологіями. Компенсаційний метод [6, 8] дає змогу вимірювати опори з високою точністю у випадках, коли потрібно усунути вплив з'єднувальних провідників, проте широке застосування його у МЕМС обмежене складною схемотехнічною реалізацією, а також впливом нестабільності струмів, що особливо відчутний при вимірюванні низькоомних опорів. Безконтактні методи [6, 10, 11] вимірювання електричного опору (метод трансформатора, метод вихрових струмів, метод на основі відбиття енергії надвисокочастотних коливань) є надзвичайно високоточними, проте їх складна реалізація обмежує широке практичне використання у МЕМС. Вимірювання електричного опору з допомогою електронних (цифрових) омметрів [12–14] (електронні омметри, цифрові омметри, диференційний метод вимірювання електричного опору, компенсаційний метод побудови цифрових омметрів), як і попередні, являються високоточними та добре автоматизованими методами вимірювання величини невідомого електричного опору, проте і їх схемна реалізація є досить складною для широкого практичного використання у МЕМС, та для розв'язання поставленої задачі зокрема.

Таким чином, проаналізувавши основні переваги та недоліки ряду методів [14] вимірювання електричного опору, найбільш придатними для розв'язання поставленої задачі вимірювання малих змін величини електричного опору являють мостові методи, адже вони дають змогу компенсувати вплив контактних площадок та з'єднувальних провідників, володіють простотою реалізації та гнучким механізмом адаптації при розгляді модифікацій поставленої задачі (виборі діапазону вимірюваних значень, особливостей фізичного середовища, часових вимог, тощо).

Структура розробленої системи вимірювання малих величин електричного опору

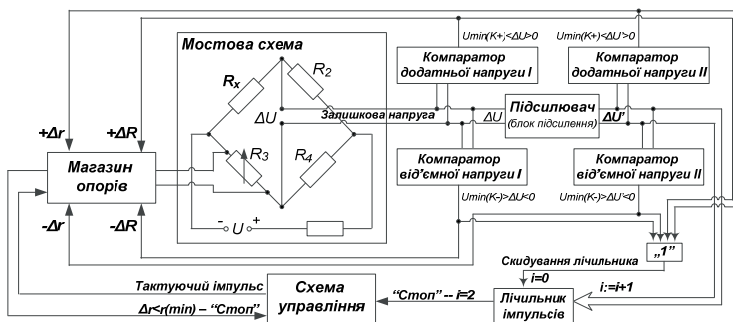


Рис. 1. Схемна модель системи вимірювання малих величин електричного опору

На рис. 1 зображена структура розробленої системи вимірювання малих величин електричного опору, що базується на основі мостових методів вимірювання електричного опору. Розроблена система дає змогу зрівноважувати електричний міст в автоматичному режимі з високою точністю за рахунок ефективного механізму виявлення та підсилення залишкової напруги в околі точки рівноваги електричного моста.

На рис. 1 зображена схемна модель розробленої системи вимірювання малих величин електричного опору. Розроблена система включає в себе мостову схему вимірювання електричного опору, ряд компараторів додатної та від'ємної напруги, блок підсилення залишкової напруги, магазин опорів, логічну схему співпадіння, лічильник імпульсів та схему управління.

Розроблена вимірювальна система (рис. 1) працює наступним чином. Залишкова напруга ΔU в околі точки рівноваги електричного моста (мостової схеми) потрапляє на вхід компараторів додатної та від'ємної напруги першого каскаду. У випадку спрацювання одного із цих компараторів відбувається збільшення (зменшення) значення керованого опору R_3 на величину ΔR , а також скидування лічильника імпульсів логічним сигналом високого рівня на виході схеми співпадіння (логічного блоку), після чого відбувається наступний цикл роботи системи. У випадку, коли не спрацював жоден із компараторів першого каскаду, залишкова напруга ΔU поступає на вхід підсилювача (блоку підсилення), після чого вже підсилена залишкова напруга $\Delta U'$ потрапляє на вхід компараторів додатної та від'ємної напруги другого каскаду. У випадку спрацювання одного із компараторів другого каскаду відбувається, відповідно, збільшення (зменшення) значення керованого опору R_3 на Δr , а також скидування лічильника імпульсів логічним сигналом високого рівня на виході логічного блоку, після чого відбувається наступний цикл роботи. У випадку ж, коли не спрацював жоден із компараторів другого каскаду, — відбувається збільшення величини лічильника імпульсів і при досягненні ним значення 2 — зупинка процесу

автоматичного врівноваження мостової схеми. Зупинка вимірювального процесу можлива також при досягненні значення величини дискретизації керованого опору меншого за мінімальне — $\Delta r < r(\min)$.

Модель функціонування розробленої системи вимірювання малих величин електричного опору

Розглянемо декілька циклів робочого процесу вимірювальної системи на конкретному прикладі. Нехай потрібно виміряти невідомий опір $R_x = 1.5826 \cdot 10^{-7}$ Ом. Причому значення усіх інших опорів електричного моста наступні: $R_2 = 0.001$ Ом, $R_3 = 0.1$ Ом, $R_4 = 1500$ Ом. Абсолютне значення межі чутливості компараторів становить 0.1 мВ. Напруга живлення рівна 12 В. Коефіцієнт підсилення залишкової напруги блоку підсилення становить $100\,000$.

На першому циклі роботи моделі залишкова напруга ΔU складатиме 1.099 мВ (див. рис. 2, а). В результаті спрацює компаратор додатньої напруги першого каскаду (див. рис. 3), значення керованого опору R_3 збільшиться на величину 0.1 Ом і становитиме 0.2 Ом, а також відбудеться обнулення лічильника імпульсів сигналом високого рівня на виході логічного блоку (рис. 3). Після цього вимірювальна система переходить до наступного (в даному випадку другого) циклу.

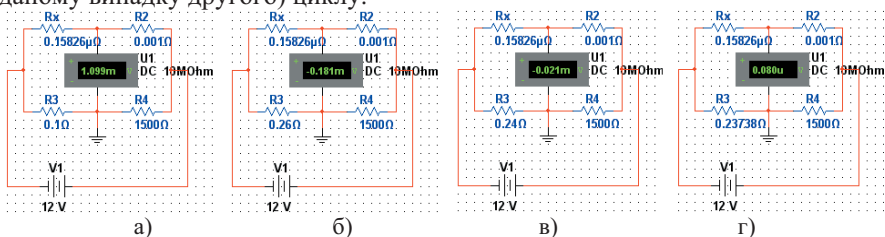


Рис. 2. Виявлена залишкова напруга на різних етапах роботи моделі

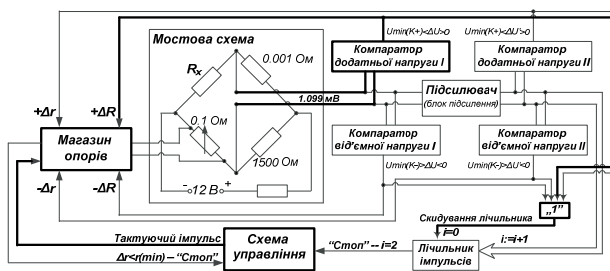


Рис. 3. Перший цикл роботи моделі

На сьомому циклі роботи моделі при величині керованого опору $R_3 = 0.26$ Ом залишкова напруга ΔU становитиме -0.181 мВ (див. рис. 2, б). В результаті спрацює компаратор від'ємної напруги першого каскаду (див. рис. 4), значення керованого опору зменшиться на величину 0.01 Ом і

становитиме 0.25 Ом, відбудеться обнулення лічильника імпульсів сигналом високого рівня на виході логічного блоку. Після чого відбудеться наступний цикл роботи.

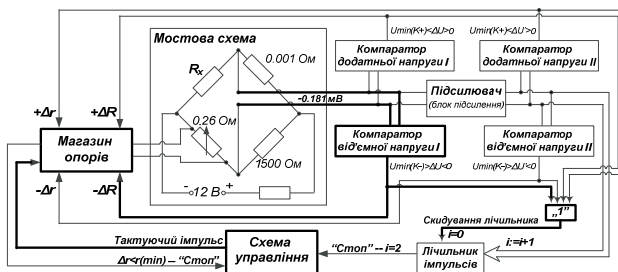


Рис. 4. Сьомий цикл роботи моделі

На дев'ятому циклі при величині керованого опору $R_3=0.24$ Ом залишкова напруга ΔU становитиме -0.021 мВ (див. рис. 2, в), тобто не спрацює жоден із компараторів першого каскаду, і залишкова напруга потрапляє на вхід блоку підсилення, на виході якого, відповідно, отримаємо підсилену залишкову напругу $\Delta U'=-2.1$ В. В результаті спрацює компаратор від'ємної напруги другого каскаду (див. рис. 5), значення керованого опору зменшиться на величину 0.01 Ом і становитиме 0.23 Ом, відбудеться обнулення лічильника імпульсів сигналом високого рівня на виході логічного блоку (рис. 5), після чого розпочнеться новий робочий цикл системи.

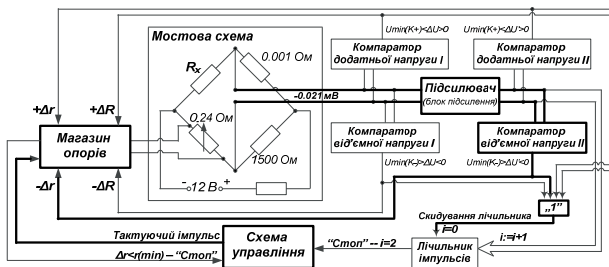


Рис. 5. Дев'ятий цикл роботи моделі

На 33-ому робочому циклі при величині керованого опору $R_3=0.23738$ Ом залишкова напруга ΔU становитиме 0.08 мкВ (див. рис. 2, г), тобто не спрацює жоден із компараторів першого каскаду, і залишкова напруга потрапить на вхід блоку підсилення, на виході якого, відповідно, отримаємо підсилену залишкову напругу $\Delta U'=8$ мВ. В результаті спрацює компаратор додатньої напруги другого каскаду (див. рис. 6), значення керованого опору збільшиться на величину 0.00001 Ом і становитиме 0.23739 Ом, відбудеться обнулення лічильника імпульсів сигналом високого рівня на виході логічного блоку (рис. 6), після чого розпочнеться наступний цикл роботи вимірювальної системи.

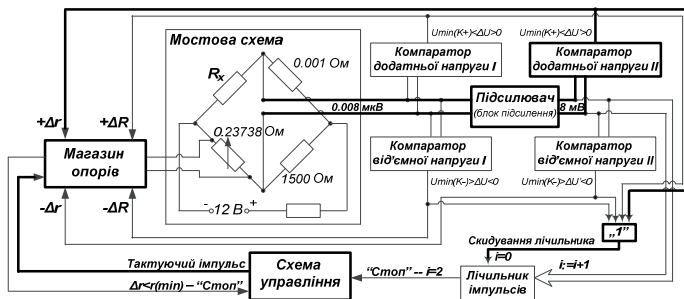


Рис. 6. 33-ій цикл роботи моделі

На 34-ому циклі роботи моделі при величині керованого опору $R_3=0.23739$ Ом залишкова напруга буде близькою до нуля, тобто жоден із компараторів першого і другого каскаду не спрацює, значення лічильника імпульсів збільшиться на 1 і становитиме 1.

На 35-ому циклі величина керованого опору буде такою ж, як на попередньому циклі роботи моделі, і складатиме 0.23739 Ом, жоден із компараторів першого і другого каскаду не спрацює, значення лічильника імпульсів збільшиться на 1 і становитиме 2 (рис. 7), тобто відбудеться зупинка вимірювального процесу та обчислення величини вимірюваного опору R_x згідно формули: $R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}$ і становитиме

$$R_x = \frac{0.00010 \text{ Ом} \cdot 0.23739 \text{ Ом}}{1500 \text{ Ом}} = 1,5826 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}.$$

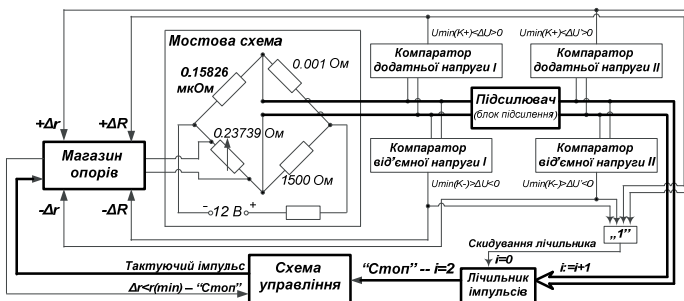


Рис. 7. Останній цикл роботи моделі

Таким чином отримаємо точне значення величини невідомого електричного опору R_x .

Нижче на рис. 8 зображено узагальнений графік поведінки керованого опору та залишкової напруги в процесі роботи вимірювальної системи.

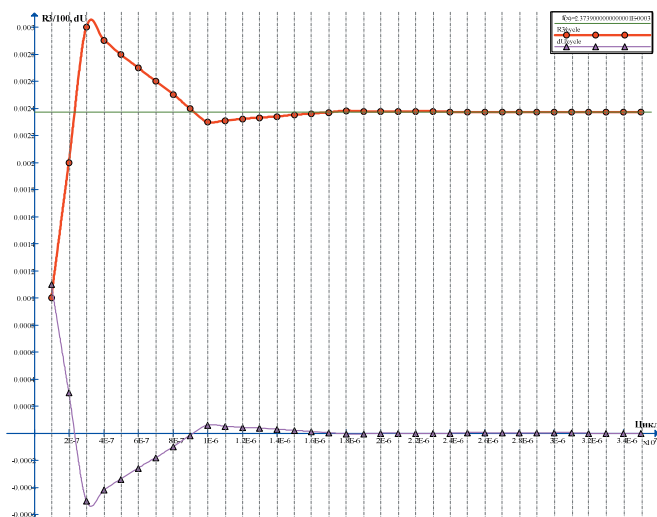


Рис. 8. Узагальнений графік поведінки керованого опору та залишкової напруги в процесі роботи вимірювальної системи

Висновки

Здійснено моделювання роботи розробленої системи вимірювання малих величин електричного опору при використанні технологій MEMS, проведено аналіз та оцінку отриманих результатів. Встановлено закономірності розподілу величини залишкової напруги впродовж всього робочого процесу вимірювальної системи, а також величини керованого опору в процесі балансування мостової схеми.

1. Сысоева С. МЭМС-технологии. Простое и доступное решение сложных системных задач / С. Сысоева // Электроника: наука, технология, бизнес. - 2009. - N 7. - С. 80-89.
2. Charles P. Poole Jr. and Frank J. Owens., Introduction to Nanotechnology. By Charles P. Poole Jr. and Frank J. Owens. Wiley-Interscience, New York. 2003. 400 pp.
3. Drexler, K.E., Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation, John Wiley & Sons, Inc.: New York (1992), — 576p.
4. Рилей Джордж А. Мир микро- и нанoeлектроники: Учебное пособие по современным технологиям в производстве микросистем. Ч. 1/Пер. с англ./Общ. ред. ООО "Совтест АТЕ": "Экспромт", 2009.
5. Рилей Джордж А. Мир микро- и нанoeлектроники: Учебное пособие по современным технологиям в производстве микросистем Ч.2/Пер. с англ./Общ. ред. ООО "Совтест АТЕ": "Экспромт", 2009.
6. Журавлёв Л.Г., Филатов В.И. Физические методы исследования металлов и сплавов: Учебное пособие для студентов металлургических специальностей. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. - 157 с.
7. Кузнецов В.А. Измерения в электронике. Справочник. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. — 509с.

8. *Поліщук Е.С.*, Електричні вимірювання електричних і неелектричних величин./Під ред. Е.С. Поліщука. – К.: Вища школа. –352с. 1978.
9. *Городовский А.Ф.* Мосты постоянного тока. — Москва: Энергия, 1964. — 87с.
10. *Р.Ринкунас, С. Кускявичюс.* Бесконтактный метод измерения сопротивления// Журнал технической физики. — 2009, том 79, вып. 1. — с.134-139.
11. *Демин Ю.Н.* Физика металлов. Учебное пособие. Москва: МГИУ, 2003. — 264 с.
12. *Душин Е.Д.*, Основы метрологии и электрические измерения. Учебник для вузов. Под ред. Е.Д.Душина. Издательство «Енергия», 1980. — 392 с.
13. *Орнатский П.П.* Автоматические измерения и приборы. - Киев: Вища школа, 1980. — 558 с.
14. *Пукач А., Іванців Р., Теслюк В.* Методи та схеми вимірювання значення невідомого опору електричного кола. Технічні вісті: Науково-публіцистичний часопис "Львівська політехніка". Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка". - 2010 - С. 160 - 163.

Поступила 29.02.2012р.

УДК 621.3

Б.В. Дурняк, д.т.н., проф., УАД, Л.С. Сікора, д.т.н., проф., НУ «Львівська політехніка», А.І. Груник, УАД, м. Львів.

ЛАЗЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗОНДУВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПОЛІВ ДЕФОРМАЦІЇ ПОВЕРХНЕВИХ СТРУКТУР ЕНЕРГОАКТИВНИХ АГРЕГАТИВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ЛОКОМОТИВІВ

Анотація. В статті розглянуто підхід до створення комплексних діагностичних вимірювальних систем.

Аннотация. В статье рассмотрены подходы к созданию комплексных диагностических измерительных систем.

Annotation. This paper describes approach to creation of complex diagnostic measuring systems.

Ключові слова. Система, об'єкт, контроль, діагностика, правила рішень.

Ключевые слова. Система, объект, контроль, диагностика, правило решения.

Keywords. System, object, monitoring, diagnostics, decision rule.

Актуальність. Для розв'язання задач управління технологічними процесами необхідно мати інформаційну базу даних і знань, моделі об'єктів та систем керування, нормативних даних які би забезпечили прийняття цільових рішень на регулювання режимів їх функціонуванням.

Відповідно можемо виділити класи даних:

- дані про структуру об'єктів виробничих систем;