

18. Анненкова А.А. Методические подходы к оценке внешнеэкономического потенциала региона / А.А. Анненкова // Среднерусский вестник общественных наук, 2007. – № 3(4). – С. 152-156.

19. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий : пер. с англ. / Т. Саати. – М. : "Радио и связь", 1993. – 320 с.

20. Черчик Л.М. Стратегічний потенціал рекреаційної системи регіону: теорія, методологія, оцінка : монографія / Л.М. Черчик, Н.В. Коленда. – Луцьк : Вид-во НЛТУ, 2008. – 235 с.

**Лыфар В.В. Исследование транзитного потенциала региона и его оценка**

Проанализированы существующие подходы и методы оценки видов потенциалов, выявлены их преимущества и недостатки. Предложена методология оценки транзитного потенциала региона. Обоснована целесообразность использования интегрированного подхода, экспертного метода в сочетании с индексным методом для оценки составляющих транзитного потенциала.

**Ключевые слова:** транзитный потенциал региона, методология, оценка, подход, метод.

**Lyfar V.V. Investigation of transit potential of region and its estimation**

In this article the existing approaches and methods of potential estimation are analyzed, their advantages and shortages are exposed. The methodology of region transit potential estimation is proposed. The expediency of usage of integrative approach, expert method in combination with index method for the estimation of transit potential components is substantiated.

**Keywords:** transit potential of region, methodology, estimation, approach, method.

УДК 620.3:621.3

Аспір. А.І. Пукач; проф. В.М. Теслюк, д-р техн. наук;  
доц. Р.-А.Д. Іванців, канд. техн. наук; асист. Р.В. Загарюк, канд. техн. наук –  
НУ "Львівська політехніка"

**МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ДІАПАЗОНУ ЗНАЧЕНЬ ВЕЛИЧИНИ ВИМІРЮВАНОВОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ**

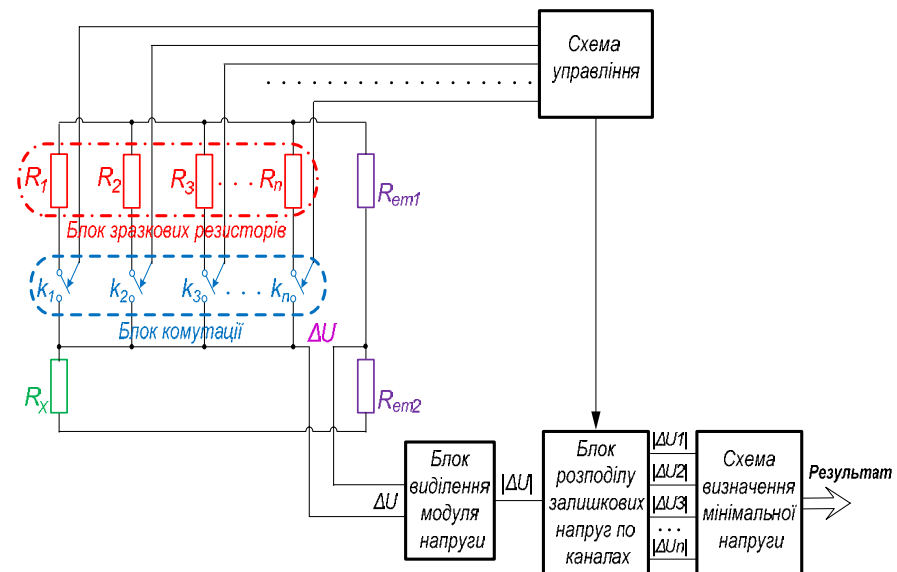
Розроблено модель функціонування підсистеми автоматичного визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору на конкретному прикладі, а також здійснено аналіз отриманих результатів. Розроблена модель функціонування дає змогу встановити основні закономірності загальної поведінки як усієї підсистеми, так і конкретних її параметрів. Запропоновано кілька варіантів розподілу насиченості діапазонування області вимірювання, наведено їх основні переваги та недоліки, а також особливості застосування. Запропоновано можливість розширення області значень вимірюваної величини електричного опору на основі рівняння балансу мостової схеми, що дає змогу значно розширити обчислювальні можливості розробленої підсистеми без додаткових апаратних засобів.

**Ключові слова:** модель, електричний опір, область вимірювання, мостова схема, МЕМС.

**Вступ.** Швидкими темпами розвиваються та впроваджуються дедалі глибше у всі сфери людської діяльності пристрої, побудовані за технологіями виготовлення мікроелектромеханічних систем (МЕМС) [1-5], поступово витісняючи свої макрoаналогі. Такий ріст МЕМС-пристроїв зумовлений низкою переваг цих технологій, однією з яких є мікронні розміри активних компонентів. Проте саме мініатюрність елементів МЕМС призводить до задачі вимірювання малих величин електричного опору, котра потребує розроблен-

ня нових, або удосконалення вже існуючих, методів вимірювання електричного опору [7]. З метою покращання точності вимірювання малих величин електричного опору в МЕМС розроблено підсистему автоматичного визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору, що дає змогу здійснити попередню оцінку вимірюваної величини та використати отримані результати в процесі подальшого встановлення її точного значення. Одним із способів покращання точності вимірювання малих величин електричного опору в МЕМС є застосування розробленої підсистеми автоматичного визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору, котра дає змогу здійснити попередню оцінку вимірюваної величини, забезпечивши цим самим можливість використання отриманих результатів на етапі точного встановлення значення вимірюваного електричного опору.

**Структура розробленої підсистеми автоматичного визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору.** Нижче на рис. 1 зображено розроблену схемну модель підсистеми.



**Рис. 1. Схемна модель підсистеми автоматичного визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору**

Модель розробленої підсистеми (див. рис. 1) працює таким чином. Схема управління по чергову замикає ключі  $k_1-k_n$ . Внаслідок замикання кожного з ключів відбувається включення відповідного зразкового резистора  $R_i$  в електричний міст [6], до складу якого входять також власне вимірюваний опір  $R_x$  та еталонні опори  $R_{em1}$  та  $R_{em2}$  (причому  $R_{em1}=R_{em2}$ ). В околі точки рівноваги електричного моста виникає залишкова напруга  $\Delta U$ , і чим меншою вона буде за абсолютною величиною, – тим ближчим буде значення вимірюваного опору  $R_x$  до величини включеного зразкового резистора  $R_i$ . З цієї метою отримані залишкові напруги  $\Delta U_i$  поступають на вхід блоку виділення

модуля напруги для отримання їх абсолютних значень, а потім зберігаються в блоці розподілу залишкових напруг по каналах, де для кожної залишкової напруги  $\Delta U_i$  на виході міститься індивідуальний канал, з'єднаний із відповідним входом схеми визначення мінімальної напруги з індикацією провідника.

**Модель функціонування розробленої підсистеми автоматичного визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору.** Розглянемо принципи функціонування та результати роботи розробленої підсистеми на конкретному прикладі (рис. 2).

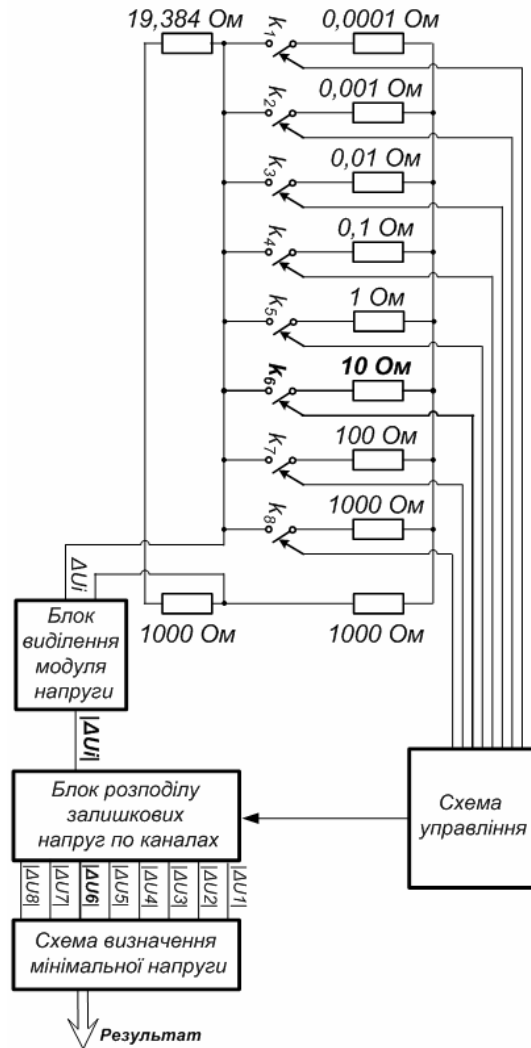


Рис. 2. Приклад схемної моделі підсистеми для вирішення конкретної задачі визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору  $R_x=19,384$  Ом

Нехай значення вимірюваного електричного опору дорівнює  $R_x=19,384$  Ом, причому значення зразкових резисторів такі:  $R_1=0,0001$  Ом;  $R_2=0,001$  Ом;  $R_3=0,01$  Ом;  $R_4=0,1$  Ом;  $R_5=1$  Ом;  $R_6=10$  Ом;  $R_7=100$  Ом;  $R_8=1000$  Ом; а напруга живлення  $E_p=12$ В.

На рис. 3 зображено залишкові напруги, що виникають в околі точки рівноваги електричного моста, для усіх зразкових резисторів  $R_1 - R_8$ .

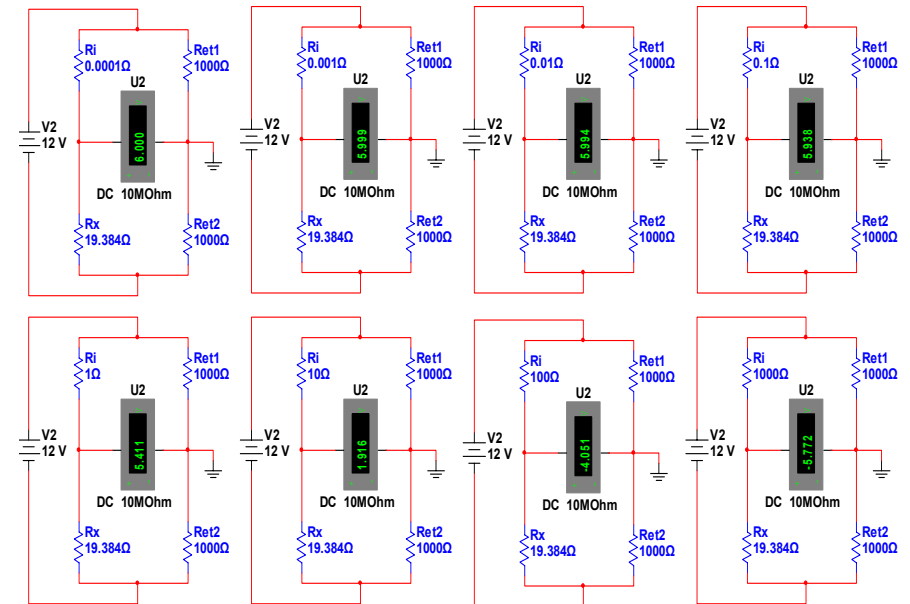


Рис. 3. Значення залишкових напруг  $\Delta U_i$  в околі точки рівноваги сформованого електричного моста

На рис. 4 також зображено графік залежності абсолютного значення залишкової напруги  $|\Delta U_i|$  від величини відповідного зразкового електричного опору  $R_i$ . З отриманих результатів (рис. 4) слідує, що мінімальною за абсолютним значенням буде залишкова напруга  $\Delta U_6=1,916$  В за величини керованого опору  $R_6=10$  Ом. Отже, значення величини вимірюваного електричного опору  $R_x$  знаходить в околі величини зразкового резистора  $R_6=10$  Ом, чого і слід було очікувати для  $R_x=19,384$  Ом.

**Аналіз результатів моделювання.** З графіка на рис. 4 також видно, що частота перекриття нижнього діапазону значень величини електричного опору ( $R_i \in [0,0001;10]$  Ом) є вищою, ніж частота перекриття середнього та вищого діапазонів значень величини електричного опору ( $[10;1000]$  Ом) (рис. 5).

Це зумовлено тим, що був використаний алгоритм вибору робочих діапазонів, згідно з яким верхня межа кожного діапазону обчислювалась як добуток нижньої межі на 10 ( $R_i^{верхнє} = R_i^{нижнє} \cdot 10$ ).

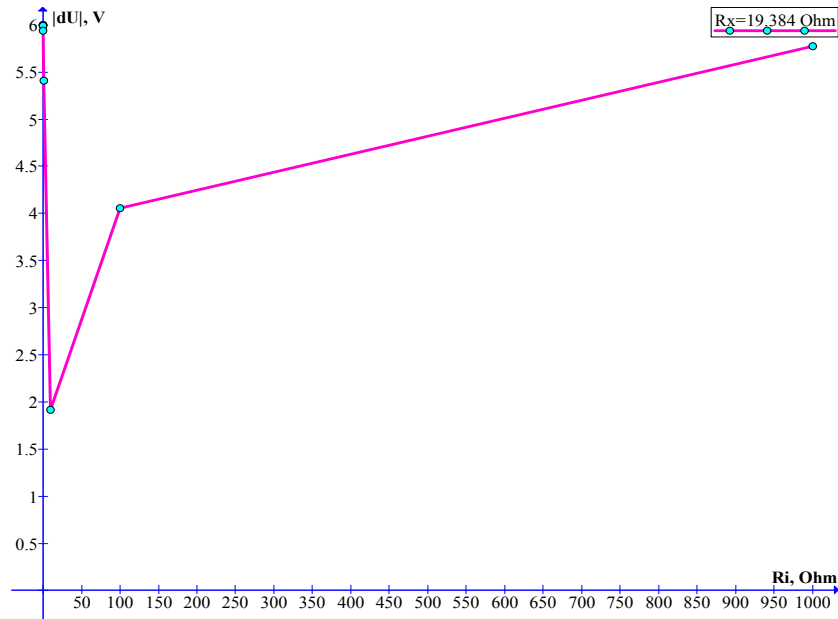


Рис. 4. Графік залежності  $|dU_i|$  від  $R_i$



Рис. 5. Графік декадного розподілу насиченості діапазонування області вимірювання

Такий розподіл (назвемо його "декадним" – див. рис. 5) зручний у тих випадках, коли величина вимірюваного електричного опору міститься саме в нижній області діапазону. Проте, можливі й інші варіанти розподілу (див. рис. 6, 7). Особливістю розробленого методу визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору є можливість контрольованого розподілу насиченості діапазонування усїєї області вимірювання (див. рис. 6, 7).

Такий варіант розподілу насиченості (див. рис. 6) формується внаслідок поділу усїєї області діапазонування на рівні відрізки. Він зручний у випадках, коли кілька досліджуваних об'єктів знаходяться в різних частинах деякої наперед відомої області значень  $[R_{обл}^{поч}, R_{обл}^{кінь}]$ .

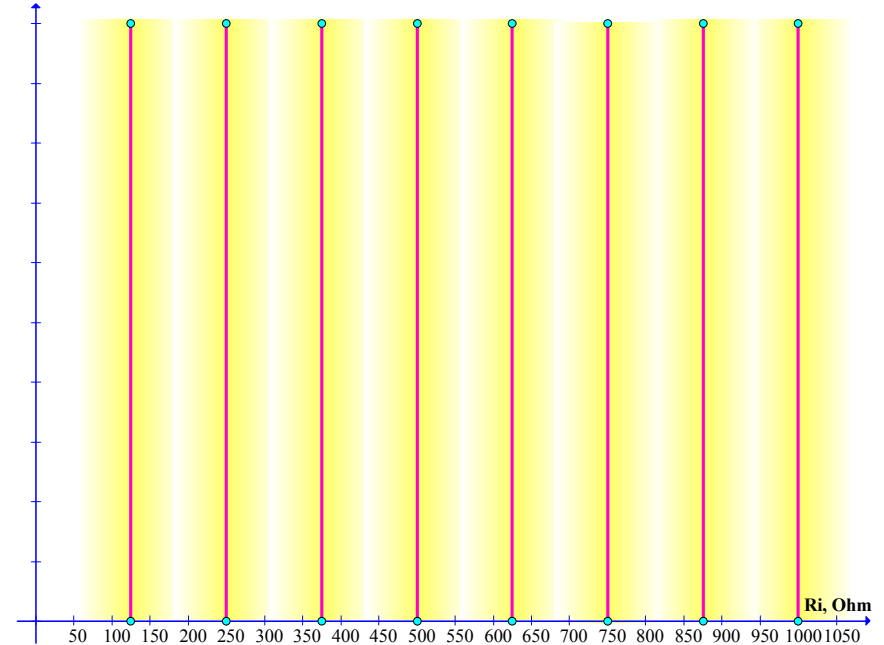


Рис. 6. Графік рівномірного розподілу насиченості діапазонування області вимірювання

Нижче на рис. 7 зображено ще один варіант розподілу насиченості діапазонування – "секторний". Використовуючи секторний варіант розподілу, можна досягти збільшення частоти розподілу насиченості на певних ділянках (секторах) області вимірювання, котрі представляють більший інтерес. У цьому випадку (див. рис. 7) – це сектори 1, 2 і 3 з діапазонами значень  $[0\text{ Ом}; 50\text{ Ом}]$ ,  $[150\text{ Ом}; 200\text{ Ом}]$  та  $[900\text{ Ом}; 950\text{ Ом}]$ , відповідно.

Треба також зазначити, що серед розглянутих вище варіантів розподілу насиченості діапазонування (див. рис. 5-7) саме запропонований декадний розподіл дає змогу встановити оптимальний крок зміни величини керованого електричного опору для досягнення рівноваги електричного моста на етапі точного визначення величини невідомого електричного опору, що в загаль-

ному випадку дасть змогу скоротити кількість робочих ітерацій і пришвидшити таким чином роботу системи.

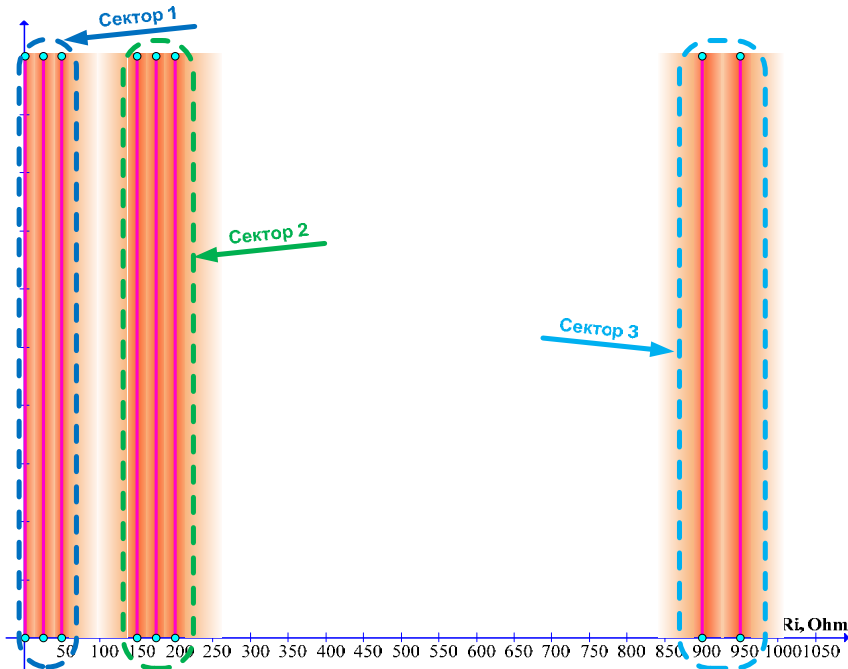


Рис. 7. Графік секторного розподілу насиченості діапазонування області вимірювання

Розширення області значень вимірюваної величини електричного опору на основі рівняння балансу мостової схеми. Нижче на рис. 8 зображено одинарний електричний міст [6], що виникає при замиканні одного з ключів розробленої підсистеми автоматичного визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору.

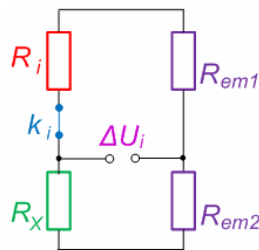


Рис. 8. Одинарний електричний міст підсистеми

Основна рівність, за якої сформований електричний міст (див. рис. 8) знаходиться в стані рівноваги, має такий вигляд:

$$R_x \cdot R_{em1} = R_i \cdot R_{em2}, \quad (1)$$

де:  $R_x$  – вимірюваний електричний опір;  $R_i$  – зразковий електричний опір, що змінюється;  $R_{em1}$  і  $R_{em2}$  – еталонні електричні опори. Відповідно:

$$R_x = R_i \cdot \frac{R_{em2}}{R_{em1}}. \quad (2)$$

У найпростішому випадку для визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору  $R_x$  достатньо прийняти еталонні електричні опори  $R_{em1}$  і  $R_{em2}$  рівними між собою ( $R_{em1}=R_{em2}$ ), тоді чим ближчим за величиною буде зразковий електричний опір до вимірюваного, тим більше схема буде наближатися до стану своєї рівноваги.

Проте таке спрощення обчислювального процесу матиме негативні наслідки у випадку, коли значення величини вимірюваного електричного опору  $R_x$  міститься за межами допустимих значень величини зразкового резистора  $R_i$ , що може бути спричинене фізичними обмеженнями можливостей магазину опорів, наприклад у випадку, коли мінімальне значення величини електричного опору магазину опорів становитиме  $10^{-4}$  Ом, а величина вимірюваного електричного опору порядку  $10^{-6}$  Ом.

Саме тому з метою розширення діапазону значень вимірюваної величини електричного опору пропонуємо встановити певні критерії вибору значень основних параметрів рівняння балансу мостової схеми, тобто значень зразкового електричного опору  $R_i$  та еталонних опорів  $R_{em1}$  і  $R_{em2}$ .

Частка еталонних напруг  $R_{em2}/R_{em1}$  виступає в ролі мультиплікативного коефіцієнта, котрий дає змогу контролювати необхідний приріст (або зменшення) величини зразкового резистора  $R_i$  з метою розширення діапазону значень вимірюваної величини електричного опору (див. рис. 9, 10).

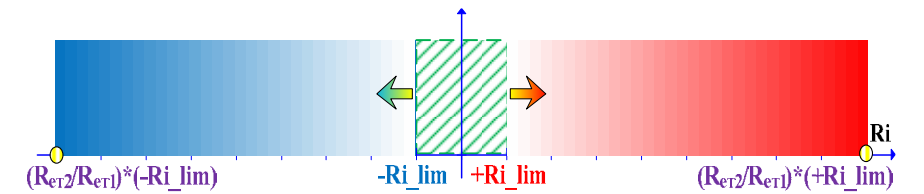


Рис. 9. Розширення верхніх границь області значень вимірюваної величини електричного опору

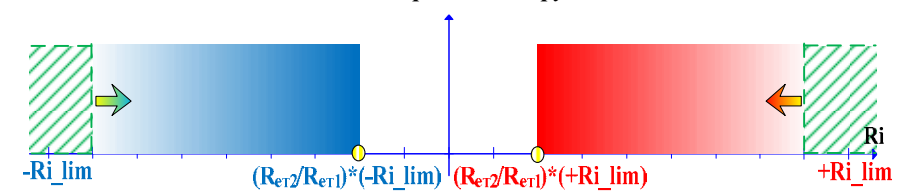


Рис. 10. Розширення нижніх границь області значень вимірюваної величини електричного опору

Таким чином (див. рис. 9, 10) можна розширити верхні та нижні границі області значень вимірюваної величини електричного опору, не змінюючи при цьому фізичних властивостей допустимих значень електричних опо-

рів магазину опорів. Наприклад, за наявності магазину опорів з максимальним значенням величини електричного опору, припустимо, 1000 Ом та мінімальним – 0,001 Ом, ми можемо вимірювати значення невідомого електричного опору від  $10^{-9}$  Ом до  $10^9$  Ом, відповідно.

Оскільки значне розширення області значень величини вимірюваного електричного опору призведе до необхідності збільшити кількість зразкових електричних опорів для покриття всієї множини значень із збереженням попереднього рівня насиченості діапазонування, здійснювати цей процес розширення потрібно додатково у тих випадках, коли величина вимірюваного електричного опору в процесі визначення діапазону її значень, згідно з отриманими результатами, знаходиться в околі граничних точок первинної множини значень вимірюваної величини електричного опору, котрі власне і представляють встановлені границі вимірювання.

**Висновок.** У роботі розроблено модель функціонування підсистеми автоматичного визначення діапазону значень величини вимірюваного електричного опору на конкретному прикладі, а також здійснено аналіз отриманих результатів. Розроблена модель функціонування дає змогу встановити основні закономірності загальної поведінки як усієї підсистеми, так і конкретних її параметрів. Шляхом аналізу отриманих результатів роботи моделі було запропоновано кілька варіантів розподілу насиченості діапазонування області вимірювання, наведено їх основні переваги та недоліки, а також особливості застосування. Крім того, у роботі розглянуто можливість розширення області значень вимірюваної величини електричного опору на основі рівняння балансу мостової схеми, що дає змогу значно розширити обчислювальні можливості розробленої підсистеми без додаткових апаратних засобів.

### Література

1. Kruglick J.J. EFAB Technology and Applications / J.J. Kruglick, A. Cohen, C. Bang // MEMS: Design and Fabrication / Mohamed Gad-el-Hak, ed. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2006. – 664 p.
2. Коллаков Ф.Ф. Микроэлектромеханические устройства в радиотехнике и системах телекоммуникаций : учебн. пособ. / Ф.Ф. Коллаков, Н.Г. Борзяк, В.И. Кортунов. – Харьков : Изд-во НАУ ХАИ, 2006. – 82 с.
3. Minhang Bao Analysis and Design Principles of MEMS Devices, – 1st edition: Elsevier Science, 2005. – 328 p.
4. James J. Allen Micro Electro Mechanical System Design, – 1st edition : CRC Press / J. James, 2005. – 496 p.
5. Marc J. Madou Fundamentals of Microfabrication: The Science of Miniaturization, – 2nd edition : CRC Press / J. Marc, 2002. – 752 p.
6. Городовский А.Ф. Мосты постоянного тока / А.Ф. Городовский. – М. : Изд-во "Энергия", 1964. – 87 с.
7. Пукач А. Методи та схеми вимірювання значення невідомого опору електричного кола / А. Пукач, Р. Іванців, В. Теслюк // Технічні вісті : наук.-публіцист. часопис НУ "Львівська політехніка". – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2010. – С. 160-163.

### **Пукач А.И., Теслюк В.Н., Иванців Р.-А.Д., Загарюк Р.В. Модель функционирования подсистемы автоматического определения диапазона значений величины измеряемого электрического сопротивления**

Разработана модель функционирования подсистемы автоматического определения диапазона значений величины измеряемого электрического сопротивления на конкретном примере, а также осуществлен анализ полученных результатов. Разрабо-

тання модель функционирования позволяет установить основные закономерности общего поведения как всей подсистемы, так и конкретных ее параметров. Предложено несколько вариантов распределения насыщенности диапазонов области измерения, приведены их основные преимущества и недостатки, а также особенности применения. Предложено возможность расширения области значений измеряемой величины электрического сопротивления на основе уравнения баланса мостовой схемы, что позволяет значительно расширить вычислительные возможности разработанной подсистемы без дополнительных аппаратных средств.

**Ключевые слова:** модель, электрическое сопротивление, область измерения, мостовая схема, МЭМС.

### **Pukach A.I., Teslyuk V.M., Ivantsiv R.-A.D., Zagaryuk R.V. Functioning model for measured electric resistance value range determining subsystem**

Functioning model for measured electric resistance value range determining subsystem, based on specific example, is developed. Analysis of derived results was performed as well. Developed functioning model allows to establish basic regularities of general behavior of all subsystem and its specific parameters. Several variants of distribution for measuring area ranging saturation were proposed, their main advantages and disadvantages both with peculiarities of usage were described. A possibility of expanding range of measured electric resistance value, based on a bridge circuit balance equation was proposed, which allows significantly expand computing power of developed subsystem without additional hardware.

**Keywords:** model, electric resistance, measuring area, bridge circuit, MEMS.

УДК 681.142.2; 622.02; 658.284; 621.325

Аспір. Алі Рекік –  
НУ "Львівська політехніка"

### **ПРОГРАМНА СИСТЕМА РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ З МОДИФІКОВАНИМИ КРАЙОВИМИ УМОВАМИ**

Розроблено модуль програмної системи, яка призначена для транспортної задачі у складі програмної системи підтримки управлінських стратегій у корпоративних ієрархічних системах з розмитою структурою. При побудові математичної моделі та розробленні програмних засобів для покращення підтримки управлінських стратегій використано інтегрований підхід, який базується на методах статистичного моделювання та сучасні інформаційні технології для їх реалізації, мінімаксного програмування з імовірнісними обмеженнями та теорії генетичних і еволюційних алгоритмів. Запропоновано спрощення формулювання крайових умов, яке розширює можливості врахування зовнішніх факторів без втрати точності вирішення завдання загалом.

**Вступ.** Програмні засоби повинні забезпечити високу ефективність використання обладнання та роботу в реальному часі. Проведений аналіз методів для розробки та аналізу функціонування систем підтримки управлінських стратегій показав, що ці алгоритми є достатньо великої алгоритмічної складності. Ефективно реалізувати такі алгоритми можна шляхом одночасного використання як універсальних, так і спеціальних підходів. Зокрема під час розроблення програмних засобів для покращення підтримки управлінських стратегій пропонуємо використовувати інтегрований підхід, який враховує такі основні елементи:

- методи статистичного моделювання та сучасні інформаційні технології для їх реалізації;
- методи мінімаксного програмування з імовірнісними обмеженнями.
- методи теорії генетичних і еволюційних алгоритмів;