

УДК 004.942

Доц. В.М. Теслюк, д-р техн. наук;

ст. викл. П.Ю. Денисюк, канд. техн. наук;

аспір. Тарік (Мох'д Тайсір) Алі Аль Омари – НУ "Львівська політехніка"

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ АКУСТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕМС

Розроблено архітектуру програмних засобів інформаційних технологій аналізу та синтезу базових акустичних елементів МЕМС, яка містить: бібліотеку макромоделей, бібліотеку мікромоделей, бібліотеку моделей для оптимізації, бібліотеку типових рішень, базу даних матеріалів і БД типових конструкцій, систему оптимізації, підсистему аналізу на макрорівні і мікрорівні, підсистему параметричного і структурного синтезу, що дає змогу автоматизувати процес аналізу та синтезу акустичних мікроелектромеханічних систем.

Ключові слова: інформаційна технологія, мікроелектромеханічні системи.

Assoc. prof. V.M. Teslyuk; senior lecturer P.Yu. Denysyuk; post-graduate Tariq (Moh'd Taisir) Ali AlOmari – NU "L'vivs'ka Politekhnika"

Software of information technologies for analysis and synthesis of basic acoustics MEMS elements

The developed architecture of software means of information technologies for analysis and synthesis of basic acoustics MEMS elements is presented in the paper, which contains: library of macromodels, library of micromodels, library of models, for optimization, library of typical decisions, base of these materials and DB of typical constructions, system of optimization, subsystem of analysis, on macrolevels and microlevels, subsystem of self-reactance and structural synthesis which enables to automatize the process of analysis and synthesis of the acoustic microelectromechanical systems.

Keywords: information technology, microelectromechanical systems.

Вступ. Для початку XXI ст. характерний швидкий розвиток міждисциплінарних наукових напрямів. Однією з галузей є мікроелектромеханічні системи [1-3]. Особливістю пристроїв цього типу є їх мікронні розміри, що значно ускладнює процеси операцій тестування, здійснення експериментів, виготовлення тощо. Тому особливого значення набувають програмні системи, технології, методи та моделі, які дають змогу отримати результати моделювання та проектування з високою точністю за прийнятні терміни.

1. Розроблення архітектури ІТ аналізу та синтезу акустичних елементів МЕМС

Архітектуру інформаційних технологій аналізу та синтезу мікроелектромеханічних систем (МЕМС) наведено на рис. 1. Вона складається з трьох основних складників: клієнтської та серверної частин, а також каналів зв'язку. Серверна частина містить бібліотеку макромоделей, бібліотеку мікромоделей, бібліотеку моделей оптимізації, бібліотеку моделей для оптимізації, бібліотеку типових рішень, базу даних (БД) матеріалів та базових конструкцій акустичних МЕМС.

Бібліотека мікромоделей містить VHDL-AMS моделі акустичних елементів МЕМС, які призначені для аналізу акустичних пристроїв і елементів на схемотехнічному рівні розроблення пристроїв. Окрім цього, ця бібліотека містить моделі на основі звичайних диференціальних рівнянь та їхніх систем, для розв'язання яких використано метод скінченних різниць та скінченних

елементів. Бібліотека мікромоделей містить моделі компонентного рівня, які ґрунтуються на рівняннях у часткових похідних з відповідними початковими і граничними умовами.

Процес аналізу та синтезу акустичних елементів МЕМС дає змогу записувати отримані та використовувати вже наявні проектні рішення. Усі рішення розміщені в бібліотеці типових рішень, що дає змогу підвищити ефективність інформаційних технологій аналізу і синтезу акустичних елементів МЕМС.

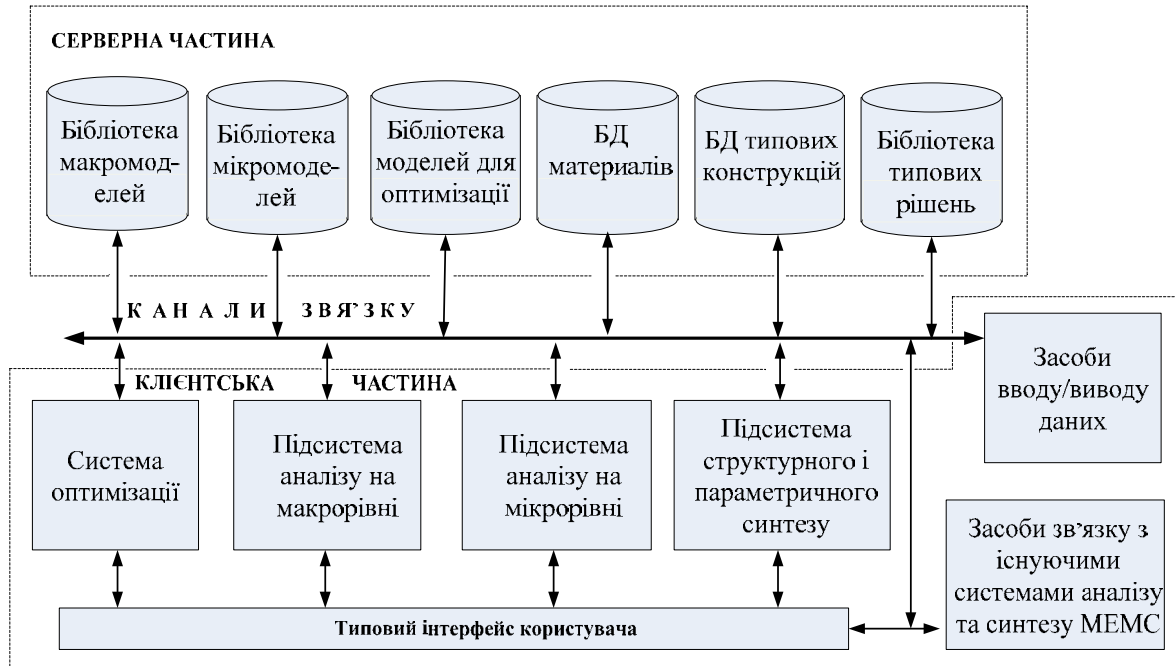


Рис. 1. Архітектура інформаційних технологій аналізу та синтезу акустичних елементів МЕМС

Побудовані моделі дають змогу змінювати матеріал конструкції акустичних елементів МЕМС (параметричні твердотільні моделі). Усі параметри матеріалів, які використовуються в мікроелектронній промисловості, розміщені у відповідній базі даних.

Програмні складові ІТ аналізу та синтезу акустичних елементів МЕМС, розміщені на сервері, спрощують доступ для багатьох користувачів, можливість наповнення новими конструкціями та моделями. Клієнтська частина архітектури містить систему оптимізації, підсистему аналізу на макро- й мікрорівнях, підсистему параметричного і структурного синтезу [4-8]. Водночас у клієнтській частині розміщені засоби зв'язку з існуючими системами аналізу та синтезу МЕМС, що дає змогу підвищити рівень автоматизації та ефективності ІТ. Під час роботи з підсистемами використовується типовий інтерфейс користувача, що також сприяє підвищенню ефективності ІТ.

Алгоритм роботи ІТ зображено на рис. 2. На першому етапі вводять вхідні дані (за допомогою відповідного редактора), обирають потрібну конструкцію акустичного елемента і параметри матеріалів, з яких реалізований акустичний елемент. Наступний етап потребує розв'язання задачі параметричного синтезу. При цьому використовується система оптимізації, бібліотека моделей для оптимізації та підсистема структурного й параметричного

синтезу. У випадку, коли отримані всі параметри технічного завдання, алгоритм передає управління на проведення аналізу на макро- і мікрорівнях, які мають зв'язки з бібліотекою макромоделей і мікромоделей.

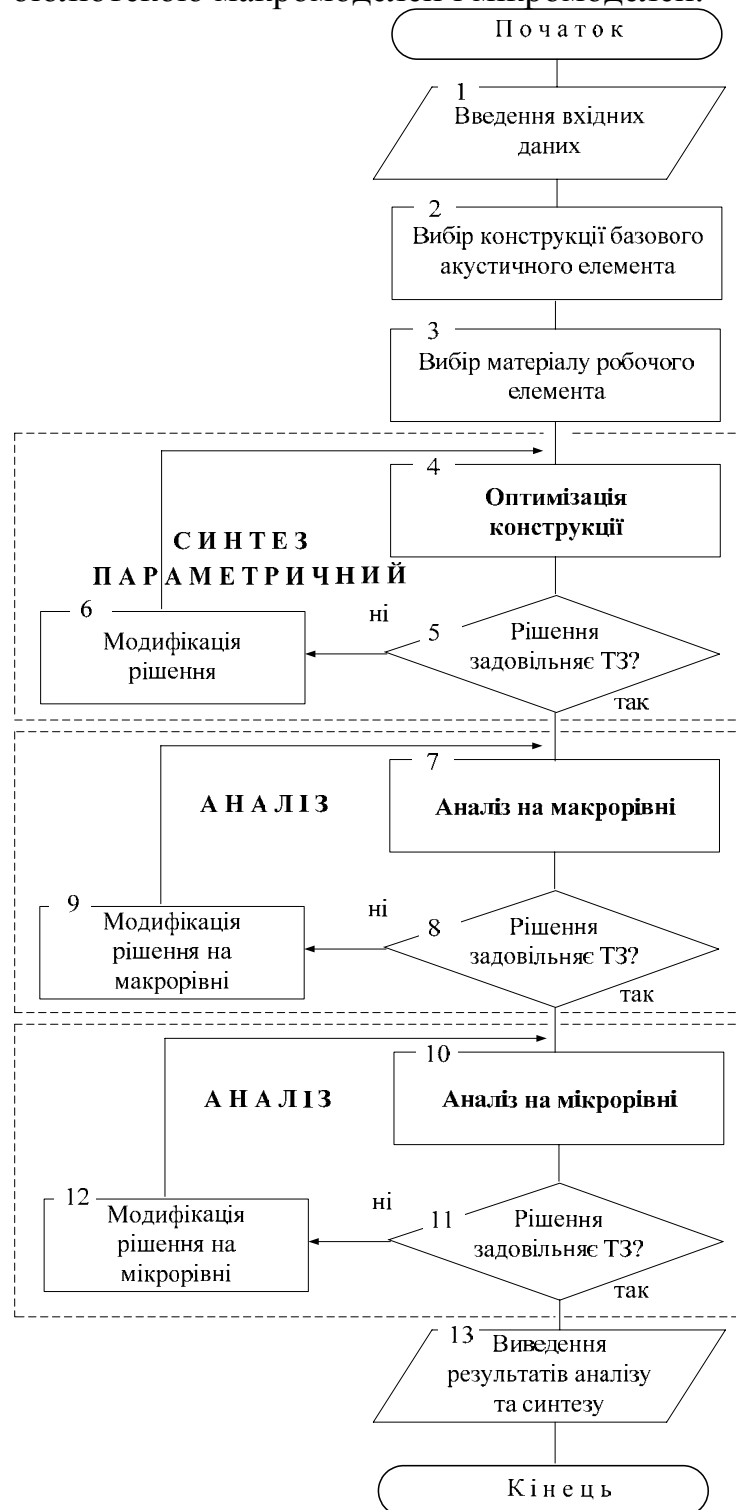


Рис. 2. Алгоритм роботи ІТ аналізу та синтезу акустичних елементів МЕМС

2. Основні складники ІТ аналізу та синтезу МЕМС

Теорію оптимізації ефективно використовують для багатьох задач, і насамперед, у таких областях, зокрема: синтезу систем і їхніх складниках; планування й аналіз функціонування існуючих систем; інженерний аналіз і оброблення інформації; управління динамічними системами, тощо.

Сучасні оптимізаційні задачі, що виникають під час аналізу та синтезу MEMS [9], характеризуються надзвичайно високою складністю, тому побудована програмна система та дає змогу прискорити процес розв'язання оптимізаційних задач і одержати результати в наочній і зручній для користувача формі.

2.1. Розроблення структурної схеми системи "OptimMEMS"

Система "OptimMEMS" призначена для розв'язання та дослідження оптимізаційних задач. Структура цієї системи містить низку підсистем (рис. 3), а саме: підсистема розв'язання одновимірних задач оптимізації; підсистема розв'язання задач лінійного програмування (ЗЛП); підсистема розв'язання задач багатопараметричної оптимізації; підсистема розв'язання задач багатокритерійної оптимізації; підсистема розв'язання задач умовної оптимізації; підсистема статистичних методів оптимізації; підсистема розв'язання оптимізаційних задач з використанням еволюційних методів; підсистема відображення вихідних результатів; підсистема введення вхідних даних; модуль інтерфейсу системи і Help-підсистема.



Рис. 3. Структурна схема системи "OptimMEMS"

Керує роботою підсистем модуль інтерфейсу. За допомогою підсистеми введення вхідних даних відбувається введення початкової інформації про оптимізаційну задачу, яку потрібно розв'язати, формування вхідного завдання і контроль правильності введення початкових даних. Підсистема відображення вихідних результатів дає змогу вивести результати розв'язання оптимізаційної задачі у вигляді графіка, або текстових файлів. Це все надзвичайно актуально під час дослідження та вивчення оптимізаційних методів та розв'язання задач аналізу й синтезу елементів МЕМС.

До складу системи оптимізації входить бібліотека реалізованих методів оптимізації, розрахована, зазвичай, на розв'язання таких задач: оптимізації одновимірних однокстремальних цільових функцій одновимірними методами [10-12]; оптимізації однокстремальних квадратичних цільових функцій декількох змінних за допомогою методів першого або другого порядків; оптимізації однокстремальних цільових функцій декількох змінних [13]; оптимізації багатопараметричних цільових функцій однієї або декількох змінних або багатопараметричних цільових функцій детермінованими методами глобального пошуку; методи розв'язання багатокритеріальних оптимізаційних задач [14].

Окрім цього, у підсистемі статистичних методів є бібліотека випадкових законів розподілу, що містить рівномірний, нормальний та інші закони розподілу.

Для правильного вибору методу оптимізації, досить часто, потрібно знати рельєф цільової функції, проте в розробника об'єкта, який приступає до оптимізації його параметрів, зазвичай, такої інформації немає. Тому в системі можна використовувати один з методів попереднього дослідження виду цільової функції та її ідентифікації для ефективного вибору методу оптимізації та систематизації початкової інформації для організації ефективнішого процесу пошуку оптимуму (початкової точки пошуку, початкового кроку тощо).

Система "OptimMEMS" дає змогу формувати вхідне завдання у формі вхідного файлу, розширення якого має бути *.txt. У кожній рядку є інформація про координати точки для двовимірного варіанта цільової функції. Якщо варіант одновимірний, у кожному рядку першою цифрою йде значення координати, а потім – значення функції.

Водночас, підсистема виведення дає змогу переглянути результати генерації вибірки випадкових чисел для підсистеми статистичної оптимізації. Відповідний файл містить інформацію про кількість чисел у вибірці та відповідно, самі числа.

Введення вхідних даних для системи оптимізації можна здійснювати за допомогою трьох варіантів: вибір цільової функції та обмежень з множини тестових; введення за допомогою загальної функції; введення вхідних даних у реальному часі. Введення даних за допомогою вибору цільової функції і обмежень з множини тестових використовують, зазвичай, для вивчення методів і алгоритмів оптимізації, виконання тестових прикладів і розв'язання оптимізаційних задач, які часто трапляються під час аналізу та синтезу гетерогенних об'єктів.

2.2. Побудова інформаційної моделі

У процесі розроблення системи побудовано інформаційну модель структури даних для збереження результатів розрахунку для задач лінійного програмування, а саме:

$$Model_{sympleks_tabl} = (N, Gl, El, Ll, Z, a, B, MinMax),$$

де: N – кількість змінних; Gl – кількість змінних типу $\geq$; El – кількість змінних типу рівностей; Ll – кількість змінних типу $\leq$; $Z(N)$ – множина коефіцієнтів цільової функції; $a(Gl + El + Ll, N)$ – множина коефіцієнтів обмежень в заданій послідовності; $B(Gl + El + Ll)$ – множина вільних членів коефіцієнтів обмежень; $MinMax$ – параметр типу оптимізаційного завдання ($MinMax = 0$ – пошук мінімуму, $MinMax = 1$ – пошук максимуму).

Збереження даних у підсистемі реалізоване з використанням двовимірного масиву $A(I, J)$, а саме (I – кількість обмежень $= Gl + El + Ll$, $J = N$), (табл. 1):

- в нульовому стовпці зберігаються коефіцієнти вільних членів обмежень $A(i, 0) = B(i)$, де $1 \leq i \leq I$;
- у наступних N стовпцях зберігаються коефіцієнти обмежень $A(i, j) = a(i, j)$, де $1 \leq i \leq I$ и $1 \leq j \leq I$;
- в $I+1$ -му рядку зберігаються коефіцієнти цільової функції, тобто: $A(i+1, j) = Z(j)$, де $1 \leq j \leq I$;
- в $I+1$ -му рядку зберігаються коефіцієнти цільової функції, тобто: $A(i+2, j) = w(j)$, де $1 \leq j \leq I$; $A(i+1, 0) = MinMax$, $A(0, 0) = N$, $A(0, 1) = Gl$, $A(0, 2) = El$, $A(0, 3) = Ll$.

Формування вхідного завдання для оптимізації за допомогою загальної функції використовується частіше. Користувач, у цьому випадку, задає тільки значення коефіцієнтів.

Запропонований підхід дає змогу описати значну частину можливих одно-, дво- і тривимірних та інших функцій.

Табл. 1. Структура даних інформаційної моделі для збереження результатів розв'язання ЗЛП

	$j = 0$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	...	$j = N$
$i = 0$	N	Gl	El	Ll		
$i = 1$	$B(1)$	$a(1, 1)$	$a(1, 2)$	$a(1, 3)$	...	$a(1, N)$
$i = 2$	$B(1)$	$a(2, 1)$	$a(2, 2)$	$a(2, 3)$	...	$a(2, N)$
...	...	...	...	...	...	...
$i = Gl + El + Ll$	$B(I)$	$a(I, 1)$	$a(I, 2)$	$a(I, 3)$	...	$a(I, N)$
$i + 1$	$MinMax$	$z(i + 1, 1)$	$z(i + 1, 2)$	$z(i + 1, 3)$	...	$z(i + 1, N)$
$i + 2$		$w(i + 1, 1)$	$w(i + 1, 2)$	$w(i + 1, 3)$	...	$w(i + 1, N)$

Розроблена система дає змогу вводити вхідні дані та здійснювати оптимізацію за відсутності цільової функції, зокрема, за експериментальними даними або обчислювальними експериментами. Особливістю цього підходу є те, що в довільний момент часу процес оптимізації можна перервати і продовжити через певний проміжок часу, завантаживши відповідний файл з історією рішення оптимізаційної задачі (контрольні точки).

2.3. Структура підсистеми для аналізу елементів MEMC на макро-рівні та мікрорівні

Підсистема аналізу акустичних елементів MEMC призначена для автоматизації побудови VHDL-AMS моделей елементів MEMC та розв'язанню задач на макрорівні із використанням розроблених макромоделей і VHDL-AMS моделей.

Структура цієї системи містить такі модулі та підсистеми (рис. 4): інтерфейс підсистеми; модуль введення вхідних даних; модуль контролю коректності вхідних даних; Help-система; модулі виведення результатів в текстовому та графічному вигляді; база типових шаблонів VHDL-AMS – моделей; модуль виконання VHDL-AMS – моделей. Керує роботою підсистеми модуль інтерфейсу.

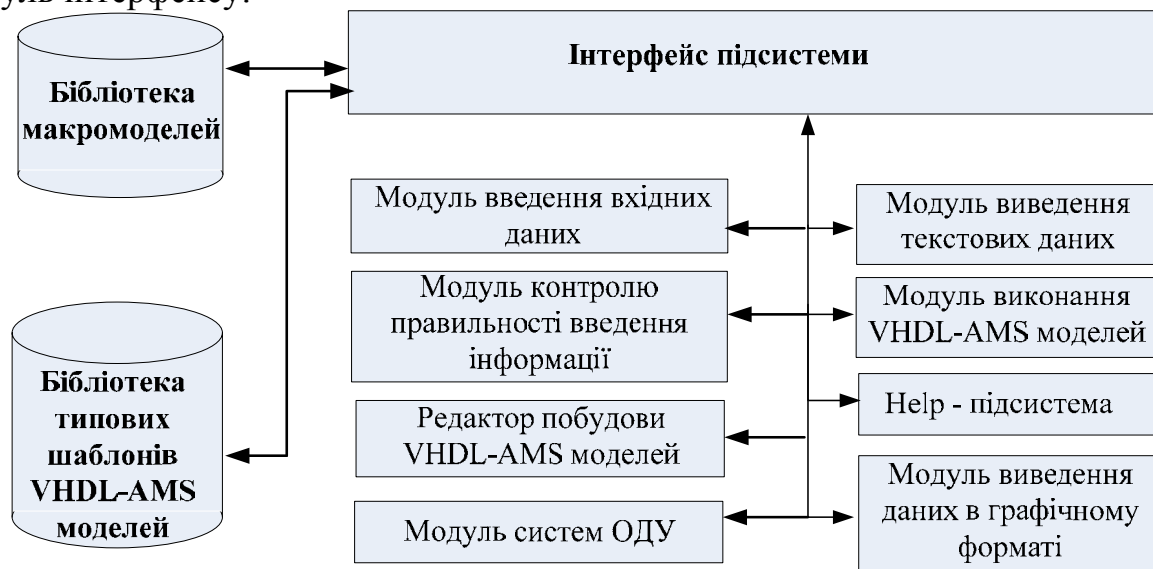


Рис. 4. Структура підсистеми для аналізу акустичних елементів MEMC на макрорівні

Підсистема аналізу елементів MEMC на мікрорівні використовує моделі компонентного рівня, які ґрунтуються на рівняннях в часткових похідних з відповідними початковими і граничними умовами. Структуру цієї підсистеми зображено на рис. 5.

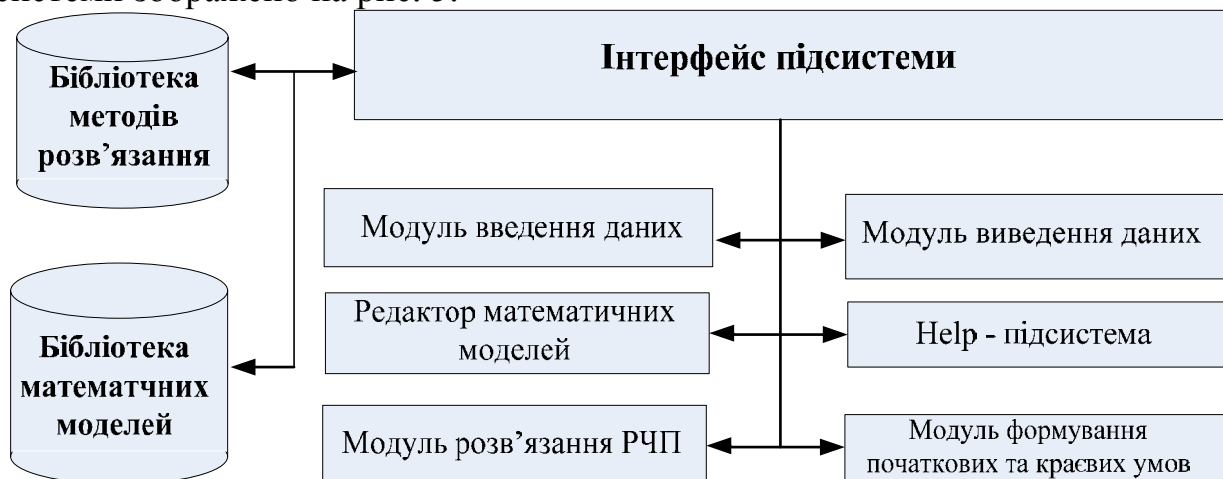


Рис. 5. Структура підсистеми для аналізу акустичних елементів MEMC на мікрорівні

Висновки. Отримала подальший розвиток архітектура інформаційних технологій аналізу та синтезу акустичних елементів МЕМС, яка містить: бібліотеку макромоделей, бібліотеку мікромоделей, бібліотеку моделей для оптимізації, бібліотеку типових рішень, базу даних матеріалів і БД типових конструкцій, систему оптимізації, підсистему аналізу на макрорівні і мікрорівні, підсистему параметричного і структурного синтезу, що дає змогу автоматизувати процес аналізу та синтезу акустичних мікроелектромеханічних систем.

Побудовано і реалізовано систему "OptimMEMS", яка містить бібліотеку методів і моделей та дає змогу ефективно організувати процес оптимізації конструкцій акустичних елементів МЕМС.

Література

1. **Теслюк В.М.** Моделі та інформаційні технології синтезу мікроелектромеханічних систем : монографія. – Львів : Вид-во "Вежа і Ко", 2008. – 192 с.
2. **Лысенко И.Е.** Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники. – Таганрог : Изд-во ТРТУ. 2005. – 103 с.
3. **Varadan V.K., Varadan V.V.** Microelectro- mechanical Systems (MEMS), 2000.
4. **Teslyuk V., Tarik Al Omari, Hamza Alshavabkeh, Denysyuk P., Melnyk M.** Computer-Aided Design of MEMS at System Level // Journal Machine Dynamics Problems. – Poland, Warsaw University of Technology. – 2007., Vol. 31, No. 3 – P. 92-104.
5. **Теслюк В.М., Денисюк П.Ю., Хамза Алі Юсеф Аль Шавабкех, Тарік (Мох'д Тайсір) Алі Аль Омарі.** Розроблення математичних моделей МЕМС на основі мереж Петрі для системного рівня автоматизованого проектування // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К., 2008. – Вип. 46. – С. 120-126.
6. **Теслюк В.** Формалізація процесу автоматизованого проектування МЕМС з допомогою мереж Петрі / В. Теслюк, М. Лобур, Альшавабкех Хамза, Омарі Тарік Аль, І. Хіміч // Матеріали науково-технічної конференції "Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій". – 2007. – Херсон : ПП "Вишемирський В.С.". – Том. 2. – С. 230-233.
7. **Teslyuk V., Tarik Al Omari, Hamza Alshavabkeh, Denysyuk P., Melnyk M.** Computer-Aided Design Of MEMS At System Level // Proc of the XV- Polish–Ukrainian Conf. on "CAD in Machinery Design – Implementation and Educational Problems" – Naleczow, Poland, 2007, October 12 -13. – P. 35-37.
8. **Teslyuk V., Hamza Al-Shavabkeh, Pereyma M., Al Omari Tarik.** The formalization of the MEMS automated design process by usage of Petri Networks.// Proc.of the IIIrd International Conference of Young Scientists (MEMSTECH'2007) – Lviv – Polyana, May, 23-26, 2007. – P. 133-134.
9. **Mokhoff N.** Test conference to target MEMS [Електронний ресурс] / International Test Conference. – Charlotte, 2003. – Режим доступу:.
10. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.eetimes.com/conf/itc/showArticle.jhtml?articleID=17408578&kc=6120>.
11. **Гилл Ф.** Практическая оптимизация. : пер. с англ. – М. : Изд-во "Мир", 1985. – 509 с.
12. **Реклейтис Г.** Оптимизация в технике. – у 2-х кн. Кн. 1,2. : пер. с англ. – М. : Изд-во "Мир", 1986. – 349 с.
13. **Шуб Т.** Решение инженерных задач на ЭВМ. Практическое руководство : пер. с англ. – М. : Изд-во "Мир", 1982. – 238 с.
14. **Химмельблау Д.** Прикладное нелинейное программирование : пер. с англ. – М. : Изд-во "Мир", 1975. – 535 с.
15. **Denysyuk P., Teslyuk V., Tariq (Moh'd Taisir) Ali AlOmari, Teslyuk T.** Development and Study of Subsystem for Solution of Tasks of Multicriterial Optimization // Proc. of the V-th International Conference of Young Scientists (MEMSTECH'2009) – Lviv – Polyana, 2009. – P. 166-167.