

## РОЗРОБЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ СХЕМ МЕМС

© Теслюк В.М., 2008

Наведено результати аналізу основних існуючих структурних схем мікроелектромеханічних систем (МЕМС), визначено області їх використання, переваги і недоліки. На основі аналізу сучасного стану та тенденцій розвитку науково-прикладної області МЕМС розроблено нові структурні схеми з поліпшеними параметрами швидкодії на основі реалізації багатьох функцій в апаратний спосіб та використання розподіленого оброблення інформації від мікродавачів. Побудовано структурні схеми МЕМС для реалізації інтегральних пристроїв типу “мікролабораторія на кристалі”, “розумний порох”, “розумних структур” і “розумних поверхонь”.

The results of analysis of basic existent structural diagrams of the micromechanical systems (MEMS) are presented in the article. The domains of their usage, advantages and failings are resulted. On the basis of analysis of the modern state and progress trends of scientifically-application area of MEMS the new structural diagrams are developed with the improved parameters of velocity on the basis of realization of functions with hardware and usage of the distributed processing of information from microsensors. Built structural diagrams of MEMS for realization of integral devices of “microlab on the chip”, “wise dust”, “wise structures” and “wise surfaces”.

### Вступ

Кінець минулого століття характеризувався тим, що з'явилося декілька нових між-дисциплінарних науково-прикладних областей. В області інтегральних технологій – це мікроелектромеханічні системи (МЕМС) появу, яких доволі часто називають закономірним продовженням розвитку області інтегральних схем або третьою науково-технічною революцією в області мікромініатюризації технічних пристроїв [1–3].

МЕМС об'єднують досягнення механіки, мікроелектроніки, оптики, електротехніки та інших науково-практичних областей. Інтегральні пристрої цього типу мають багато переваг порівняно зі стандартними пристроями: вони надійніші, дешевші, легші, інтеграція наукових областей носить синергетичний характер, виготовляють їх за груповою технологією тощо.

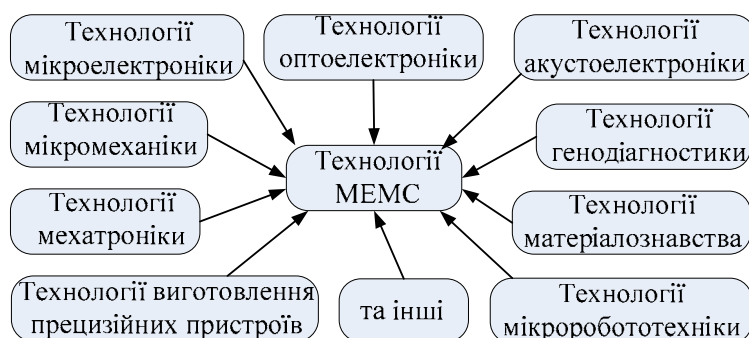


Рис. 1. Базові технології подвійного призначення

Технології виготовлення, аналізу та синтезу МЕМС належать до так званих “критичних” технологій та технологій подвійного призначення (рис. 1). Тому здебільшого ці технології визначають економічну та військову незалежність держави, забезпечують розвиток космічної області та конкурентоспроможності продукції на світовому ринку. Разом з тим вони ґрунтуються на відомих технологіях подвійного призначення, зокрема: мікроелектроніки, опти-

електроніки, акустoeлектроніки, мехатроніки, мікроробототехніки, прецизійної механіки, матеріалознавства тощо.

Враховуючи те, що MEMS є наукомісткими пристроями, їх ефективний аналіз та синтез неможливий без використання відповідних інформаційних технологій, які спираються на відповідні програмні засоби, методи і математичні моделі, методології і алгоритми.

Початковий етап синтезу структури MEMS вимагає визначення базової структурної схеми цього інтегрального пристрою. Оскільки робота аналізує існуючі базові структури та розробку нових, то вона є актуальною.

### Розроблення та аналіз структурних рішень для реалізації MEMS

Загальну структуру MEMS показано на рис. 2. Вона включає вхідний перетворювач, мікропроцесор (пристрій для оброблення, збереження, передавання інформації) та вихідний перетворювач.

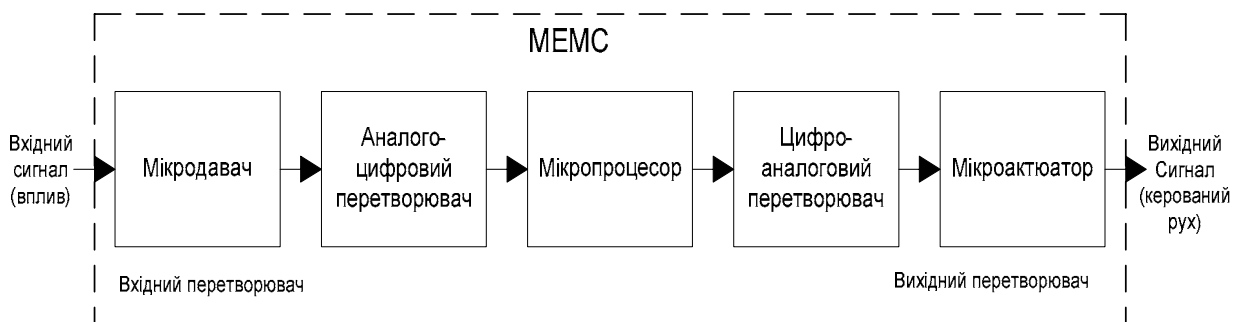


Рис. 2. Загальна структура MEMS з можливістю оброблення даних від мікродавача у цифровому форматі

Вхідний перетворювач (мікродавач) призначений для визначення змін чи впливу оточуючого середовища на інтегральний пристрій. Як правило, до вхідних перетворювачів належать мікродавачі. Такі пристрої перетворюють, для прикладу, зміну тиску, напруження чи деформації на зміну електричного параметра, який може бути сприйнятий за допомогою пристрою оброблення, передавання та збереження даних, який називається мікропроцесором. В багатьох мікропроцесорах як вхідний електричний параметр можуть виступати зміна опору, ємності, частоти, напруги, струму тощо.

Оскільки безпосередньо аналогову величину напруги чи струму мікропроцесор обробляти не може, то після мікродавача використано аналого-цифровий перетворювач (АЦП), з якого вже цифровий сигнал поступає на мікропроцесор. Мікропроцесор обробляє отримані дані згідно з попередньо визначеним алгоритмом, а результат оброблення у формі цифрового сигналу видає на цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). ЦАП перетворює код в аналоговий сигнал, який безпосередньо подається на вихідний перетворювач. Як вихідний перетворювач виступають актюатори – це мікропристрої, які перетворюють електричну енергію чи енергію іншого виду в керований рух, нагрівання, зміну напрямку оптичного променя тощо.

Разом з тим можлива й інша структура, яку показано на рис. 3. Її особливість полягає у тому, що вона обробляє лише аналоговий сигнал. Вона включає відповідно мікродавач, схему керування та оброблення сигналу і мікроактюатор. Принцип дії такої MEMS аналогічний до попередньої.

Структури MEMS, показані на рис. 2 та 3, належать до найпростіших. Особливістю їх є те, що реалізувати таку MEMS можна за допомогою єдиної технології виготовлення, хоча можуть виникнути проблеми виготовлення мікродавача та мікроактюатора за єдиною технологією та розміщення їх на одному кристалі. Таким структурам притаманна найвища швидкодія (з двох вищенаведених структур кращі параметри швидкодії має структура з аналоговою схемою

керування та оброблення сигналу), живлення подається від макросистеми тощо. Здебільшого для реалізації мікродавача та мікроактюатора використовують технології поверхневого чи об'ємного оброблення, або їх похідні та КМОН технології для виготовлення мікропроцесора, яка є сумісною з двома вищеперерахованими. Прикладом MEMS, які використовують такі структури, є підсистема викидання подушок безпеки в автомобілі, системи контролю цукру в крові людини тощо.

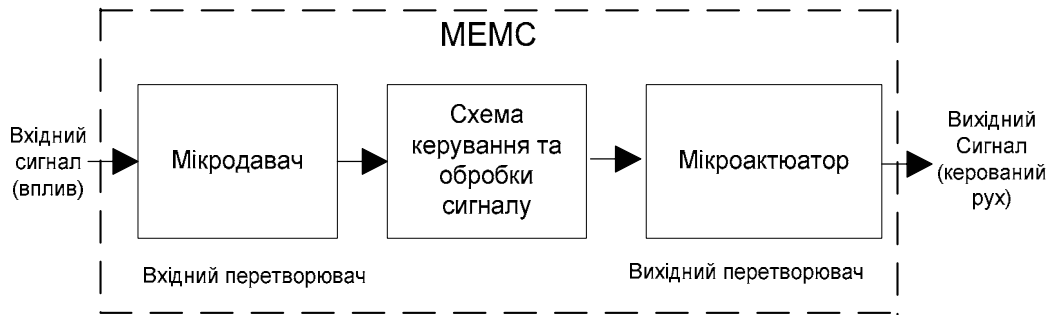


Рис. 3. Структура MEMS для оброблення аналогового сигналу

Багато подібних, більш деталізованих базових структурних схем MEMS були розроблені в роботах Лобура М.В. [4], зокрема: структура вбудованої системи на базі програмно-логічних інтегральних схем (ПЛІС), структура вбудованої системи на базі спеціалізованого мікроконтролера (з АЦП та ЦАП), структура вбудованої системи з можливістю прецизійного оброблення та проста структура вбудованої системи.

Складні структури MEMS можуть включати десятки мікродавачів, кілька каналів оброблення інформації та десятки виконуючих пристроїв. Прикладом MEMS з такою структурою може бути “мікролабораторія-на-кристалі” (рис. 4 та 5) [5 – 11]. Різниця між структурами на рис. 4 та 5 полягає в тому, що на рис. 4 структура включає один канал оброблення даних, а на рис. 5 – декілька.

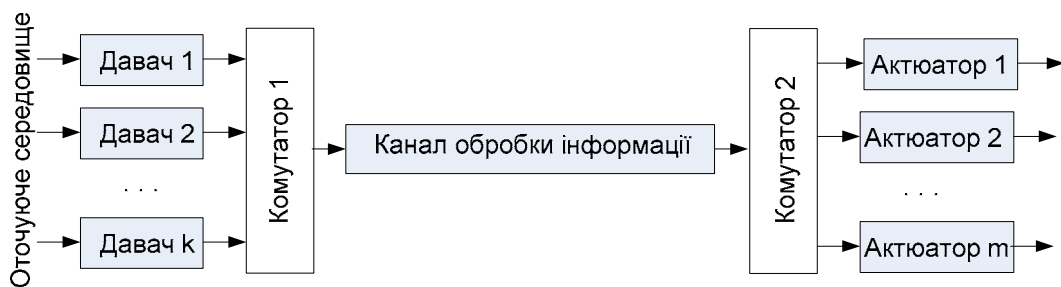


Рис. 4. Приклад складної структури MEMS з одним каналом оброблення інформації

За кількістю елементів структура на рис. 5 є складніша, але структура на рис. 4 має кращі параметри швидкодії та надійності.

Усі канали оброблення інформації на рис. 5 можна розділити на дві групи. Перша група характеризується тим, що оброблення інформації відбувається в програмному режимі і відповідно для неї притаманні певні особливості. Зокрема до переваг програмних каналів оброблення інформації можна віднести можливість зміни програми оброблення, не змінюючи структури системи змінювати функції, які вона виконує. Друга група каналів обробляє інформацію від давачів за допомогою апаратних засобів і має кращі параметри швидкодії, ніж перша група. Разом з тим для каналів кожної групи притаманні і недоліки, зокрема: канали з програмним обробленням інформації мають гірше значення швидкодії, ніж канали з апаратними засобами оброблення, які не надають можливості змінювати алгоритми оброблення інформації від мікродавачів. Тому доцільно

в одній МЕМС передбачити як канали для програмного оброблення інформації, так і канали для апаратного оброблення. Приклад відповідної структури показано на рис. 6. Проектування МЕМС з такою структурою вимагає розв'язання на верхніх рівнях задач, пов'язаних з вибором методу реалізації функцій системи (програмного чи апаратного оброблення), розробленням структури програмного і математичного забезпечень для програмного оброблення інформації від давачів.

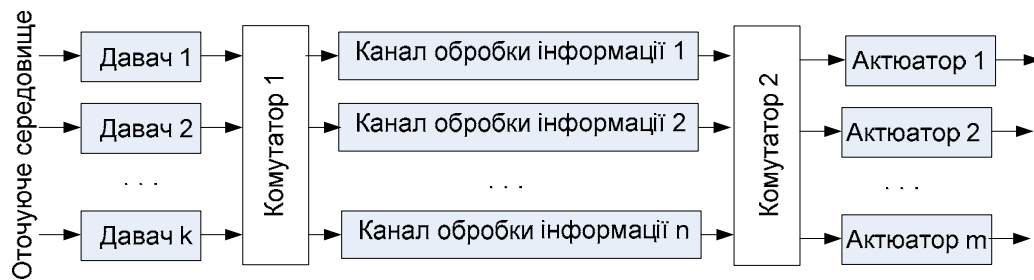


Рис. 5. Приклад складної структури МЕМС з кількома каналами оброблення інформації

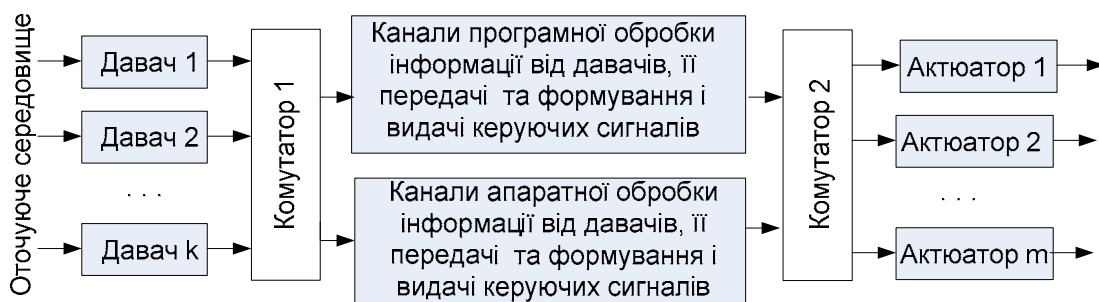


Рис. 6. Приклад складної структури МЕМС з каналами апаратного та програмного оброблення інформації від давачів, її передачі та формування і видачі керуючих сигналів

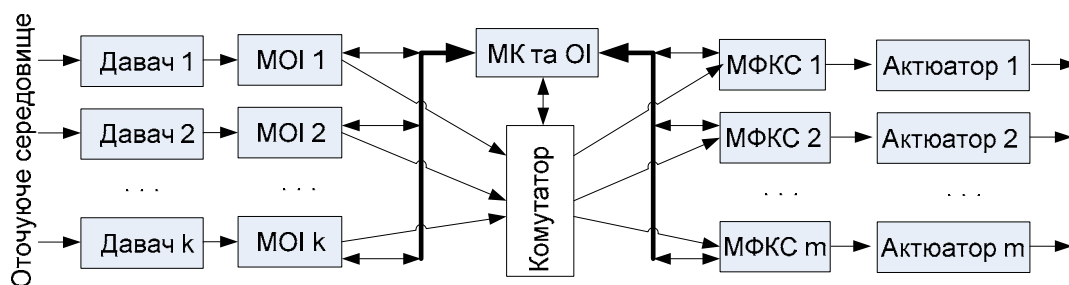


Рис. 7. Приклад складної розподіленої структури МЕМС (МОІ – модуль оброблення інформації; МКтаОІ – модуль керування та оброблення інформації; МФКС – модуль формування керуючого сигналу)



Рис. 8. Приклад структури МЕМС з зовнішнім керуванням

Здебільшого MEMC є системами реального часу, тому особлива увага приділяється такому параметру, як швидкодія, та методам її підвищення. Одним з архітектурних методів підвищення швидкодії MEMC є реалізація мікросистеми на основі розподіленої структури, приклад якої показано на рис. 7. Вона може використовуватися під час реалізації спеціального виду MEMC, так званих “розумних структур”, “розумних поверхонь” тощо.

Приклад структури MEMC, яка дає змогу встановити зв'язок з іншими системами, зображено на рис. 8. Основне призначення мікросистем цього типу полягає у збиранні інформації про оточуюче середовище, її часткове чи повне оброблення, передачу, обмін інформацією між подібними пристроями тощо. Запропонована структура може використовуватися під час реалізації пристроїв типу “розумний порох” тощо.

### **Висновки:**

1. Проведено аналіз простих структур MEMC, зокрема: структурних схем MEMC для оброблення аналогового сигналу з одним давачем та одним актюатором, структурні схеми MEMC для оброблення цифрового сигналу з одним давачем та одним актюатором. Перевагами цих двох структур є те, що виготовити їх можна за допомогою єдиної мікротехнології і таким структурам притаманна найвища швидкодія. З двох вищезрозглянутих структурних схем кращі параметри швидкодії має структура з аналоговою схемою оброблення сигналу. Більше того, вона включає меншу кількість елементів структури (відсутні блоки АЦП, ЦАП тощо). До переваг структурної схеми, яка призначена для оброблення цифрового подання інформації від давачів можна віднести можливість зміни виконуваних функцій без зміни структури пристрою.

2. Одним з основних параметрів MEMC є їх швидкодія (інтегральні пристрої реального часу). Тому в роботі розроблено нові структурні схеми з поліпшеним параметром швидкодії. Зокрема розроблено структурну схему, в якій запропоновано реалізувати частину функцій MEMC в апаратний спосіб, а частину – в програмний. Подальше покращання параметра швидкодії можливе шляхом використання розподіленого оброблення інформації від мікродавачів. Для реалізації цього підходу розроблено структурну схему MEMC з розподіленим обробленням інформації від мікродавачів.

3. Побудовані структурні схеми MEMC для реалізації інтегральних пристроїв типу “мікролабораторія на кристалі”, “розумний порох”, “розумних структур” і “розумних поверхонь”.

1. Соколов Л.В. *Сенсорные твердотельные приборы и микросистемы на основе MEMS-технологии* // *Зарубежная электронная техника*. – 1999. – № 1. – С.93 – 116. 2. Лучинин В.В. *Микросистемная техника. Направления и тенденции развития* // *Научное приборостроение*. – 1999. – Т. 9. – № 1. – С. 3–18. 3. Лысенко И.Е. *Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники*. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2005. – 103 с. 4. Лобур М.В. *Проектування мікроелектромеханічних структур для вбудованих систем з використанням сучасних САПР* // *Вісник НУ "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи"*. – 2003. – № 479. – С. 121–125. 5. Теслюк В.М. *Побудова множини можливих рішень з допомогою I – АБО – дерева при вирішенні задач структурного синтезу на системному рівні проектування MEMC* // *Науково-технічний журнал "Інформаційні технології і системи"*. – Львів. – 2006. – Том 9. – № 1. – С. 101–108. 6. *Lab-on-a-Chip and Microarrays for Post-Genome Applications* // *Cambridge Helthtech Institute's Fourth Annual*. – Zurich. – 2002. – 608 p. 7. Корляков А.В., Крапивина Е.В., Лучинин В.В. *Физико-топологические основы микрофлюидных чипов* // *Петербургский журнал электроники*. – 2001. – № 4. – С.43–53. 8. Зимица Т.М., Лучинин В.В., Крапивина Е.В., Ресин А.С. *Микросистемная техника и проблемы биомедицинского анализа* // *Микросистемная техника*. – 2000. – № 2. – С.37–42. 9. Kim D. S., Lee S. H., Ahn C. H., Lee J. Y. and Kwon T. H.. *Disposable Integrated Microfluidic Biochip for Blood Typing by Plastic Microinjection Molding* // *Lab Chip*. – Vol. 6. – 2006. – P. 794–802. 10. Ahn C. H., Choi J. -W., Beaucage G., Nevin J., Lee J. -B., Puntambekar A. and Lee J. Y. *Disposable Smart Lab on a Chip for Point-of-Care Clinical Diagnostics* // *Proc. of the IEEE, Special Issue on Biomedical Applications for MEMS and Microfluidics*. – 2004. – Vol. 92. – P. 154 – 173. 11. Kwon J.W., Kamal-Bahl S. and Kim E.S. *Film Transfer and Bonding Technique to Cover Lab on a Chip* // *IEEE Intern. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators(Transducers '05)*. – Seoul, Korea. – June 5–9, 2005. – P. 940–943.