

В.М.Теслюк, д.т.н., професор кафедри САП, НУ “Львівська політехніка”,  
П.Ю.Денисюк, к.т.н., ст. викл. кафедри САП, НУ “Львівська політехніка”.

## **ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗУ НА СИСТЕМНОМУ РІВНІ ПРОЕКТУВАННЯ МЕМС**

В статті розроблено модель на основі систем масового обслуговування для розв’язання задач синтезу на системному рівні проектування МЕМС.

The model based on queuing systems for solving problems of synthesis on the MEMS design level is developed and presented in the paper.

### **Вступ**

Складність визначення залежностей між вхідними та вихідними параметрами мікроелектромеханічних систем (МЕМС), відсутність вичерпної інформації для забезпечення необхідної степені деталізації етапів проектування при їх великій розмірності призводять до складностей при розробленні інтегральних мікросистем та неможливості застосування універсальних методів і засобів автоматизованого синтезу МЕМС [1, 2]. В процесі аналізу МЕМС в ряді робіт для системного рівня автоматизованого проектування запропоновано використовувати моделі на основі мереж Петрі [3, 4], де авторами розроблено та використано математичні моделі на основі мереж Петрі [5-8]. Побудовані моделі використовуються для визначення динаміки роботи системи, значень швидкодії та надійності інтегрального виробу. В цій статті, для розв’язання задач синтезу на системному рівні проектування МЕМС та формування вимог до технічного завдання на елементи структури мікросистеми запропоновано використовувати теорію систем масового обслуговування (СМО), що дає змогу підвищити ефективність автоматизованого проектування мікросистем.

### **1. Постановка задачі та опис математичного забезпечення підсистеми**

В процесі дослідження структурних схем МЕМС виникає необхідність розроблення підсистеми їх синтезу з використанням теорії систем масового обслуговування, яка дає змогу проводити дослідження СМО з безмежною кількістю каналів обслуговування, СМО з очікуванням, змішаної СМО з очікуваннями та СМО з можливістю відмови та враховувала специфіку складної мікросистеми.

В процесі аналізу та синтезу складних систем з використанням моделей на основі СМО оперують рядом таких параметрів [7, 9]: ймовірність простою  $P_0$  каналу обслуговування; ймовірність того, що в системі знаходиться  $n$  заявок (ймовірність  $P_n$ ); середнє число заявок, що знаходяться в системі

$(N_{сум} = \sum_{n=1}^{\infty} nP_n)$ ; середнє число заявок, що знаходяться в черзі

$N_{черз} = \sum_{n=N_k}^{\infty} (n - N_k)P_n$ , де  $N_k$  – число каналів обслуговування; середній час

очікування в черзі  $T_{черз}$ . Для розімкнутої системи  $T_{черз} = \frac{N_{черз}}{\lambda}$ , де  $\lambda$  – це інтенсивність надходження потоку заявок в систему. Для замкнутої системи:

$T_{черз} = \frac{N_{черз}}{\lambda(m - N_{черз})}$ , де  $m$  – число вимог, що потребують обслуговування;

середній час очікування заявок в системі  $T_{сум}$ ; середнє число вільних каналів обслуговування:  $N_{BK} = \sum_{n=0}^{N_k-1} (N_k - n)P_n$ ; середнє число зайнятих каналів

обслуговування:  $N_{ЗК} = \sum_{n=1}^{N_k} nP_n$ .

Для дослідження розімкнутої системи, з використанням моделей на основі СМО, потрібно визначити інтенсивність надходження заявок в систему  $\lambda$  та інтенсивність обслуговування кожного каналу  $\mu$ . Якщо всі  $N$  каналів зайняті, то заявки отримують відмову та залишають систему. Ця задача вперше розглядалася Ерлангом [10] для визначення: ймовірності  $P_0$  того, що всі канали обслуговування вільні; ймовірності  $P_n$  того, що зайнято рівно  $n$  каналів обслуговування; середнє число зайнятих каналів обслуговування.

Стан системи масового обслуговування нумерується по числу зайнятих каналів обслуговування (воно співпадає з кількістю заявок, бо відсутня черга):

- 1) усі канали вільні (жодна заявка не обслуговується);
- 2) один канал зайнятий (обслуговується одна заявка);
- .....
- n)  $n$  - каналів зайнято (обслуговується  $n$  заявок);
- .....
- N) всі  $N$  каналів зайнято (обслуговується  $N$  заявок).

У відповідності з графом стану, та використовуючи правило Колмогорова, запишемо систему звичайних диференціальних рівнянь для ймовірності стану системи [10]:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t),$$

.....

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = -\lambda P_n(t) + (n+1)\mu P_{n+1}(t) - n\mu P_n(t) + \lambda P_{n-1}(t),$$

$$\frac{dP_N(t)}{dt} = -N\mu P_N(t) + \lambda P_{N-1}(t).$$

Зробивши припущення, що система має стаціонарний режим роботи, при  $t \rightarrow \infty$ , а також провівши ряд алгебричних перетворень отримуємо наступні вирази [10]: ймовірність того, що використано рівно  $n$  каналів обслуговування, буде рівною:

$$P_n = \frac{\psi^n}{\left( n! \sum_{n=0}^N \frac{\psi^n}{n!} \right)},$$

а середнє число зайнятих каналів обслуговування можна визначити використовуючи наступний вираз:

$$N_{зк} = \sum_{n=1}^N nP_n = \sum_{n=1}^N \frac{\psi^n}{(n-1) \sum_{n=0}^N \frac{\psi^n}{n!}}.$$

Отримані математичні співвідношення дають змогу провести аналіз складних структурних схем МЕМС та розв'язати ряд задач синтезу на системному рівні проектування. Описаний математичний апарат використано при програмній реалізації підсистеми «СМО-МЕМС».

## 2. Побудова структурної схеми підсистеми та розроблення алгоритмічного і програмного забезпечення

Вище наведені математичні співвідношення реалізовані в підсистемі «СМО-МЕМС». Розроблена підсистема призначена для розв'язання та дослідження моделей системного рівня проектування, які ґрунтуються на основі теорії систем масового обслуговування [7]. Структура побудованої підсистеми включає такі модулі (Рис.1), а саме: модуль вводу вхідних даних (ВД); модуль контролю коректності вхідних даних; модуль виведення даних у текстовому форматі; модуль виведення даних у графічному форматі; інтерфейс підсистеми; модуль реалізації СМО з безмежною кількістю каналів обслуговування; модуль реалізації СМО з очікуванням; модуль реалізації змішаної СМО з очікуванням; модуль реалізації замкнутої СМО; модуль реалізації СМО з можливістю відмови.

Керує роботою підсистеми інтерфейс користувача, а введення вхідних даних та контроль їх правильності проводиться за допомогою модуля вводу вхідних даних і модуля контролю коректності ВД.

Оскільки вхідні дані, які генерує підсистема зручно представити як у графічному, так і текстовому форматах, то підсистема використовує два модулі для виведення даних. Перший – модуль виведення даних призначений для виводу інформації у текстовому форматі, а другий – у графічному форматі.

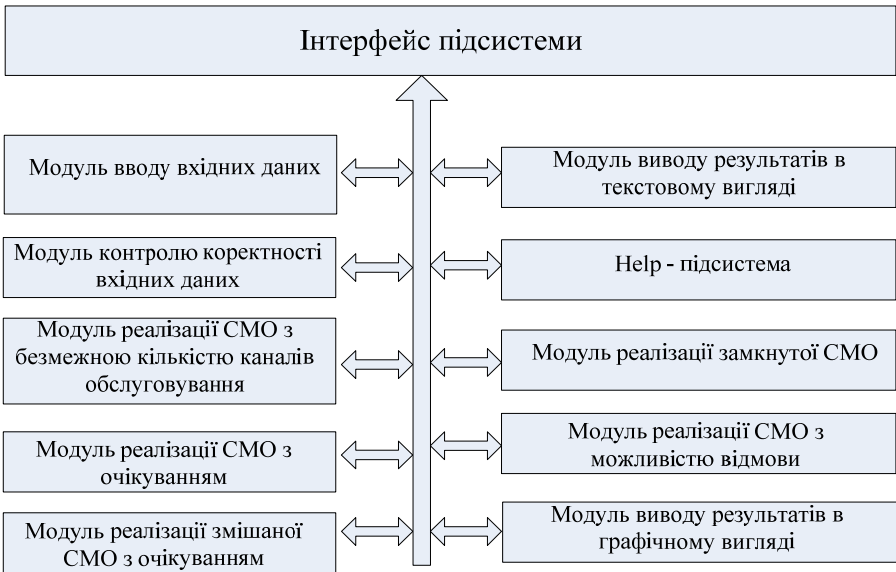


Рис.1. Розроблена структурна схема підсистеми

Підсистема включає модуль Help-підсистеми, який дає змогу користувачу ознайомитися з особливостями побудованої підсистеми та її використання при побудові моделей і, безпосередньо, проведення обчислень.

Після введення вхідних даних, відбувається перевірка на коректність отриманих даних підсистемою. На наступних кроках роботи з підсистемою користувач обирає тип моделі СМО та формат виводу результатів розв'язання задачі.

В якості програмного інструменту в процесі реалізації підсистеми була обрана мова програмування Java, яка дала можливість створювати незалежну від архітектурної платформи комп'ютера програму шляхом компіляції в проміжне представлення (байт-код) [8]. Окрім того був використаний об'єктно-орієнтований підхід для програмної реалізації підсистеми, що надало ряд зручностей користувачу в процесі підключення зовнішніх програмних модулів та систем. Головною перевагою цього програмного продукту є можливість отримати протокол розв'язання задачі, що спрощує розуміння та аналіз отриманих даних.

На рис.2. наведені основні пакети класів побудованої підсистеми. Пакет основного фрейму та панелі моделювання призначений для побудови досліджуваної структури моделі та інтерфейсу з користувачем. Кореневий пакет – перевірки на коректність отриманих даних та взаємозв'язок з іншими пакетами класів. Пакет інтерфейсу та параметрів підсистеми – забезпечує зв'язок з зовнішніми програмними модулями та системами, налаштування

інтерфейсу з користувачем. В пакеті моделей СМО реалізовані основні типи моделей СМО.

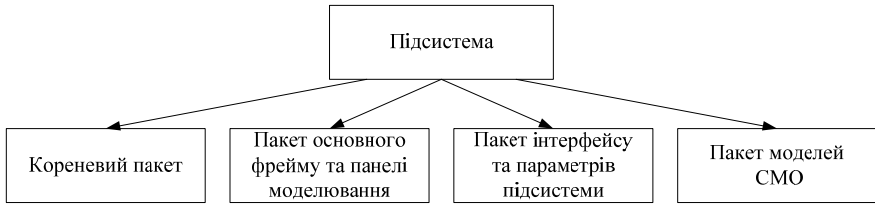


Рис.2. Пакети класів розробленої підсистеми

Таким чином побудована підсистема дає змогу користувачу проводити аналіз та дослідження різноманітних моделей MEMC на основі моделей, які використовують теорію СМО.

### 3. Результати досліджень

Застосуємо розроблену підсистему аналізу та синтезу MEMC використовуючи моделі на основі систем масового обслуговування для визначення кількості каналів оброблення даних від мікродавачів. Отже, будемо вважати, що запити надходять від мікродавачів. Типова структура розроблюваної мікроелектромеханічної системи наведена на рис. 3. Розв’язання цієї задачі дасть змогу сформулювати вимоги до елементів структури MEMC.

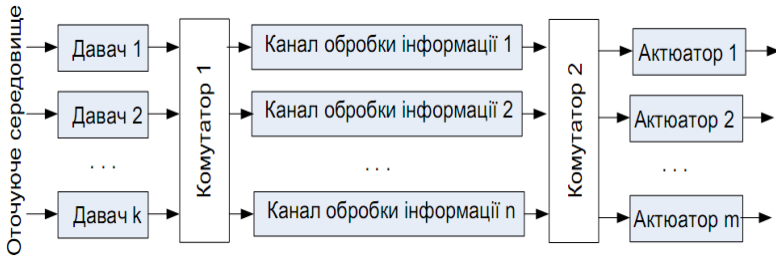


Рис.3. Структура мікроелектромеханічної системи

Прийемо, що запити надходять від мікродавачів (електричні сигнали, які необхідно обробити) і вони мають пуассонівський розподіл. Кількість запитів від давачів рівна 50 за одну секунду, тобто: інтенсивність вхідного потоку рівна  $\lambda = 50$ . Середня тривалість оброблення запиту має показниковий розподіл з математичним сподіванням  $\frac{1}{\mu} = 0.01$  секунди.

Приймаємо, що замовлення одержує відмову, якщо усі канали оброблення даних від мікродавачів зайняті. Необхідно визначити скільки типових каналів оброблення даних необхідно використати в MEMC, щоб ймовірність відмови

не перевищувала 0,01? Результати розв'язання задачі з використанням побудованої системи зображено на рис. 4. З отриманих результатів слідує, що необхідно використати два типових оброблювачі даних від мікродавачів. Збільшивши тривалість оброблення даних до 0.05 секунди отримаємо результати згідно з якими необхідно буде 5 типових каналів (див.рис.4-5).

```
СМО з можливістю відмови
Визначення необхідної кількості каналів обслуговування
-----Вхідні дані-----
Інтенсивність надходження заявок Lambda: 50.0
Інтенсивність опрацювання кожним каналом 1/μ: 100.0
Ймовірність опрацювання заявки W: 0.9
-----Результат-----
Ймовірність відмови P0: 0.07692307692307693
Відносна пропускна здатність СМО G: 0.9230769230769231
Абсолютна пропускна здатність СМО W1: 0.46153846153846156
Середня кількість каналів зайнятих обслуговуванням G1: 46.15384615384615
Коефіцієнт завантаження каналів K: 23.076923076923077
Коефіцієнт завантаження каналів K1: -22.076923076923077
Заявка буде опрацьована з вірогідністю W: 0.9
Числом каналів M: 2
-----Виконано-----
```

Рис. 4. Вихідні результати роботи підсистеми

```
СМО з можливістю відмови
Визначення необхідної кількості каналів обслуговування
-----Вхідні дані-----
Інтенсивність надходження заявок Lambda: 50.0
Інтенсивність опрацювання кожним каналом 1/μ: 20.0
Ймовірність опрацювання заявки W: 0.9
-----Результат-----
Ймовірність відмови P0: 0.06973111681356689
Відносна пропускна здатність СМО G: 0.9302688831864331
Абсолютна пропускна здатність СМО W1: 2.3256722079660825
Середня кількість каналів зайнятих обслуговуванням G1: 46.51344415932165
Коефіцієнт завантаження каналів K: 9.30268883186433
Коефіцієнт завантаження каналів K1: -8.30268883186433
Заявка буде опрацьована з вірогідністю W: 0.9
Числом каналів M: 5
-----Виконано-----
```

Рис. 5. Результати роботи підсистеми

### Висновки

1. Розроблені моделі на основі СМО, які призначені для розв'язання задач синтезу на системному рівні проектування МЕМС.
2. Розроблено структурну схему підсистеми для аналізу структурних схем МЕМС з використанням теорії систем масового обслуговування та

побудоване алгоритмічне і програмне забезпечення підсистеми.

3. Отримані результати дають змогу визначати кількість каналів передачі інформації між елементами системи МЕМС.

1. *Теслюк В.М.* Моделі та інформаційні технології синтезу мікроелектромеханічних систем: Монографія. – Львів : Видавництво ПП "Вежа і Ко", 2008 – 192 с.
2. *Теслюк В.М.* Методологія проектування МЕМС на системному рівні проектування // Збірник наукових праць Української академії друкарства "Комп'ютерні технології друкарства", № 18, - Львів, 2007., - С. 56 – 63.
3. *Теслюк В.М.* Застосування мереж Петрі при проектуванні МЕМС на системному рівні // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. - Львів, 2006. – № 564. – С. 45 - 53.
4. *Teslyuk Vasyk, Tarik Al Omari, Hamza Alshavabkehk, Pavlo Denysyuk, Mykhaylo Melnyk* 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* Розробка математичних моделей МЕМС на основі мереж Петрі для системного рівня автоматизованого проектування // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім.Г.Є.Пухова НАН України. – Київ, 2008, Випуск 46. – С.120 - 126.
6. *Roman Zaharyuk, Serhiy Hrytsay, Vasyk Teslyuk, Ihor Farmaha, Andriy Kernysky* Development of the Model of Capacity Type Accelerometer on the Basis of Petri Nets // Proc. of the X Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2009). – Lviv – Polyana, Ukraine, 2009. – P. 519 – 520.
7. *Л. Клейнрок.* Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979 - 432 с.
8. *Нотон П., Шилдт Г.* Полный справочник по Java: Пер.с англ.:–К.:Диалектика, 1997.
9. *Ивченко Г.И., Капитанов В.А., Коваленко И.Н.* Теория массового обслуживания / Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1982. — 256с.
10. *Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров* Задачи и упражнения по теории вероятностей: Учеб. пособие для студ. вузов. — 5-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 448 с.

*Поступила 4.10.2010р.*

УДК 621.315.592;621.382

В.И. Ирха, профессор ОНАС им. А.С.Попова, Одесса

## УПРАВЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ СВЕТОДИОДА МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

**Annotation.** We detected the magnetic field influence on emission intensity of LED. In transverse magnetic field the area of radiative recombination is displaced to small-gap region of base of variband LED. It lead to a shifting of LED's emission spectrum to a low-energy range. In magnetic field the emission intensity decreases be-