

вимірювального базису, а спектральний аналіз коливань його енергетичну структуру [1].

1. Сікора Л. С. Лазерні інформаційно-вимірювальні системи для управління технічними процесами. – Львів: Каменяр, 1981. – 445с.
2. Технические средства диагностирования // ред. Клюев В.В. – М.: Машиностроение. 1989. – 672с.

*Поступила 6.09.2010р.*

УДК 004.942

В. М.Теслюк, д.т.н., професор кафедри САП, НУ “Львівська політехніка”,  
Хамза Алі Юсеф Альшавабкех, аспірант НУ “Львівська політехніка”.

## **ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ГРАФА ДОСЯЖНОСТІ**

Розроблено інформаційну модель для збереження даних про граф досяжності. Побудована модель використовує структури даних на основі двозв'язних списків та XML-формат, що забезпечує можливість зручної модифікації структури графа та забезпечує інтеграцію з іншими підсистемами інформаційних технологій аналізу і синтезу мікроелектромеханічних систем.

Information model has been developed to store data about the reachability graph. The developed model uses data structures based on double-ended lists and XML-format enabling possibility of modification of graph structure and integration with other subsystems of information technologies of micromechanical system analysis and synthesis.

### **Вступ**

З розвитком технологій виготовлення мікроелектромеханічних систем (МЕМС) [1, 2] виникла потреба у побудові нових та удосконаленні існуючих методів, моделей і програмно-технічних засобів для розв'язання задач аналізу і синтезу під час розроблення таких інтегральних пристроїв.

Процес ієрархічного аналізу і синтезу МЭМС передбачає розв'язання типових задач структурного і параметричного синтезу, багато- і одноваріантного аналізу [3]. Задачі, що виникають на початкових етапах розробки мікроелектромеханічних систем, є одними із найскладніших.

Тому розробка моделей і побудова програмних засобів інформаційних технологій аналізу і синтезу мікроелектромеханічних систем на системному рівні є актуальною задачею сьогодення.

## 1. Побудова інформаційної моделі графа досяжності

Для аналізу структурних схем МЕМС, в ряді наукових робіт, запропоновано використовувати моделі на основі теорії мереж Петрі [3 – 6]. В загальному випадку математичні моделі, які базуються на теорії мереж Петрі можна записати з використанням таких співвідношень [5, 6]:

$$N_{\text{петри}} = \{S, T, F, M_0\}, \quad (1)$$

де  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_g\}$  – множина позицій (станів);  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_v\}$  – множина переходів;  $F$  – множина дуг, яка включає дві підмножини вхідних і вихідних дуг стосовно переходу;  $M_0$  – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі;  $g, v$  – кількість позицій і переходів, відповідно.

Прості мережі Петрі (МП) використані для аналізу динаміки роботи МЕМС, що проводиться на основі побудованого графу досяжності. Використання моделей на основі теорії МП дає можливість дослідити вихідні параметри структур складних об'єктів чи систем та динаміку системи.

Граф досяжності призначений для відображення можливих станів системи і переходів між станами. В загальному випадку інформаційна модель графу досяжності може бути представлена в наступному вигляді:

$$G_{\text{досяжності}} = (S, L),$$

де  $S$  – множина станів системи;  $L$  – множина зв'язків (ребер) між станами системи (елементів).

Припустивши, що кількість станів системи є скінчене число і рівне  $n$ , то

$$S = \bigcup_{i=1}^n S_i,$$

де  $S_i$  –  $i$ -ий стан системи.

Оскільки, граф досяжності відноситься до орієнтованих графів, то для однозначності зв'язків між станами системи необхідно додати інформацію про те, з якого стану система переходить в інший стан. Отже, кількість переходів позначимо через  $l$ , і цей індекс елемента множини зв'язків розмістимо внизу, а двома верхніми індексами будемо позначати стани. Тобто, першим позначимо індекс, який буде відображати початковий стан системи до спрацювання переходу, а другим – кінцевий стан системи. Тому, множина зв'язків між станами системи включає такі елементи:

$$L = \bigcup_{i=1}^l L_i,$$

де  $l$  – номер переходу.

Додавши інформацію про стан, з якого зроблений перехід і який стан отримаємо в результаті спрацювання  $i$ -го переходу будемо мати такий вираз:

$$L = \bigcup_{i=1}^l L_i^{\text{in}_i, \text{out}_i},$$

де  $in\_i$  – номер початкового стану системи  $i$ -го переходу;  $out\_i$  – номер кінцевого стану системи  $i$ -го переходу.

Для збереження інформації про множини переходів між станами графа досяжності в роботі використано матрицю інцидентності [3]. Матриця інцидентності включає кількість стрічок, яка рівна кількості можливих станів (в нашому випадку маємо  $n$ ), а кількість стовпів рівна кількості можливих переходів між станами (тобто  $l$ ). Відповідно стрічки матриці відповідають вершинам графа досяжності, а стовпці – ребрам. Позначимо матрицю інцидентності через  $A$ , тоді

$$A = [a_{i,j}] = [m, l],$$

де  $a_{i,j}$  – елемент матриці інцидентності, який розміщений на перетині  $i$ -ої стрічки та  $j$ -го стовпця.

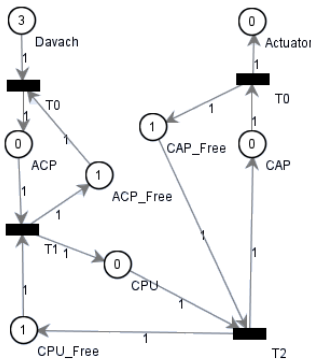
Кожний елемент матриці  $A$  може приймати одне з трьох можливих значень:

+1, якщо  $S_i$  – початковий стан переходу;

-1, якщо  $S_i$  – кінцевий стан переходу;

0, якщо відсутній перехід з  $i$ -го стану в  $j$ -ий стан системи.

Приклад матриці інцидентності для опису реальних структур MEMC і їх моделей на основі мереж Петрі наведений на рис. 1.



	T0	T1	T2	T4
Davach	-1	0	0	0
ACP	1	-1	0	0
CPU	0	1	-1	0
CAP	0	0	1	-1
ACP_Free	-1	1	0	0
CPU_Free	0	-1	1	0
CAP_Free	0	0	-1	1
Actuator	0	0	0	1

Рис. 1. Приклад простої мережі Петрі та матриці інцидентності для структурної схеми MEMC

Для збереження даних про граф досяжності використано структури даних на основі двозв'язних списків. Структура даних включає таку інформацію: заголовок, кількість станів графу досяжності, кількість переходів з одного стану в інший та інформація про матрицю інцидентності (див.рис.2).

Така структура даних забезпечує можливість модифікації проектного рішення структурної схеми об'єкта розроблення.

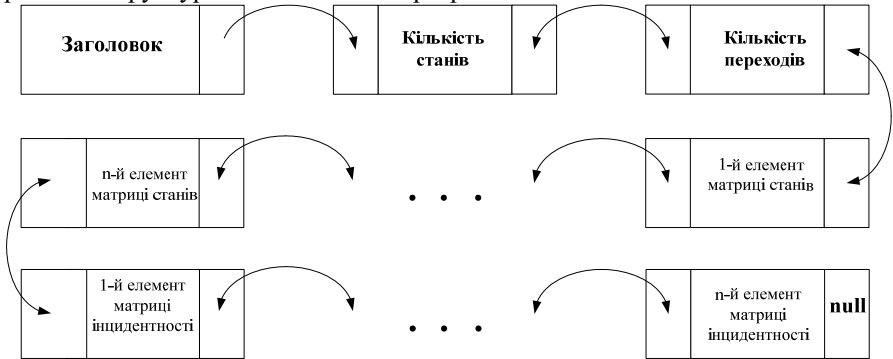


Рис.2. Структура даних на основі двозв'язних списків для збереження інформації про граф досяжності

## 2. Опис інформаційної моделі з використанням нормальної форми Бекуса-Наура

Опишемо структуру даних, яка представлена на рис.2 за допомогою нормальної форми Бекуса-Наура (НФБ).

Структура даних включає таку інформацію про граф досяжності:

- заголовок;
- кількість станів графу досяжності;
- кількість переходів;
- матриця інцидентності.

Представимо структуру даних, використовуючи НФБ:

< Граф досяжності > ::= { < опис графу досяжності > };

< опис графу досяжності > ::= < заголовок >;

< кількість станів >;

< кількість переходів >;

< матриця станів >;

< матриця інцидентності >.

В заголовку структури даних розміщена інформація про назву файлу з описом структури мереж Петрі і назвою графу досяжності:

< заголовок > ::= < назва файлу МП >;

< назва графу досяжності >.

< назва файлу МП > ::= < назва файлу > | < знак > | < розширення файлу >;

< назва файлу > ::= < стрічка >;

< стрічка > ::= < буква > | < буква >;

< буква > ::= A|B|B|Г|Д|Е|Ж|З|И|Й|К|Л|М|Н|О|П|Р|С|Т|У|Ф|Х|Ц|Ч|Ш|Щ|Ъ|Ы|Э|Ю|Я|  
a|б|в|г|д|е|є|ж|з|и|й|к|л|м|н|о|п|р|с|т|у|ф|х|ц|ч|ш|щ|ъ|ы|э|ю|я;

< знак > ::= -|.|!|/|\*|(|).

< розширення файлу > ::= < стрічка 1 >;

< стрічка1 >::=net.

Для опису інформації в заголовку про файл графа досяжності:

<назва графу досяжності >::=< назва файлу >|<знак >|<розширення файлу1>;

< розширення файлу >::=<стрічка2>;

< стрічка2 >::=gdt.

Опис кількості станів і кількості переходів:

< кількість станів >::=<число >;

< кількість переходів >::=<число >;

< число >::=<число ><цифра >|<число >;

<цифра>::=0|1|2|3|4|5|6|7|8|9.

Опис матриці станів:

< матриця станів >::=< масив значень >;

< масив значень >::=<число1>|<число2>|,....|< число N>;

<число1>::=<знак><число>;

<число2>::=<знак><число>;

... ;

<число N >::=<знак ><число >.

Відповідно опис матриці інцидентності:

< матриця інцидентності >::=< масив значень >;

< масив значень >::=<число1>|<число2>|,....|< число N>.

### 3. Застосування XML-формату для опису розробленої інформаційної моделі

Для збереження даних інформаційної моделі використано XML-формат. Приклад якого наведено на рис.3.

```
01 <Model_GD_XML name=SystemModel_MEMS01>
02   <Name_File>
03     NameStructure=Mems01.net;
04     NameGraf= Mems01.gdt;
05   </Name_File >
06   <Structure>
07     StateGraf=6;
08     MoveGraf= 7;
09   </Structure>
10   <Matrix_States>
11     Value_States = "111100000", "001100010", "011000001",
12                   "001110000", "011001000", "011100100";
13   </Matrix_States >
14   <Matrix_incidence>
15     Value_Matrix= "-1110000", "0-101000", "00-10100",
16                   "000-1010", "0000-101", "10000-1-1";
17   </Matrix_incidence >
18 </Model_GD_XML>
```

Рис.3. Приклад файлу в XML - форматі

Перша стрічка структури даних графа досяжності представленого в XML-форматі включає назву моделі графа досяжності. Блок “Name\_File” (стрічки 02 – 05) включає інформацію про назви файлів, в яких розміщені дані структури мереж Петрі і назви файлу з даними про граф досяжності. В блоці “Structure” (стрічки 06 – 09) розміщені дані про структуру графа досяжності: кількість станів і кількість переходів між станами. В прикладі, наведеному на рис.3 кількість станів рівне шести (StateGraf=6), а кількість переходів між станами – 7 (MoveGraf= 7). Наступний блок “Matrix\_States” (стрічки 10 – 12) розміщена інформація про значення станів графу досяжності, а в блоці “ Matrix\_incidence ” (стрічки 13 – 16) – дані про значення матриці інцидентності.

Використання XML-формату дає змогу швидко та надійно інтегрувати дані про граф досяжності в різні програмні засоби інформаційних технологій аналізу та синтезу МЕМС.

### **Висновок**

1. Розроблено інформаційну модель для збереження та оброблення даних про граф досяжності, який використовується в процедурі аналізу МЕМС на системному рівні розроблення з використанням структурних моделей на основі теорії мереж Петрі.

2. Побудована інформаційна на етапі збереження даних використовує структури даних на основі двозв'язних списків, що забезпечує зручність в процесі редагування інформаційної моделі та XML – формат, який забезпечує єдиний підхід до обміну даними між складовими інформаційних технологій аналізу та синтезу структурних схем МЕМС.

1. *Теслюк В. М.* Моделі та інформаційні технології синтезу мікроелектромеханічних систем. Монографія. – Львів : Вежа і Ко, 2008. – 192 с.
2. *Лысенко И.Е.* Проектирование сенсорных и актуаторных элементов микросистемной техники. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2005. – 103 с.
3. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
4. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон : перев. с англ. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
5. *Котов В.Е.* Сети Петри / В. Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 160 с.
6. *Теслюк В.М.* Використання мереж Петрі при проектуванні МЕМС на системному рівні // Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. – Львів, 2006. – № 564. – С. 45 – 53.
7. *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 і інформаційні технології. Зб. наук. пр. інституту проблем моделювання в енергетиці ім.Г.С.Пухова НАН України. – Київ, 2008, Вип. 46. – С.120 – 126.

*Поступила 30.08.2010р.*