

## **РЕФЕРАТ**

магістерської атестаційної роботи

на тему:

“ Дослідження особливостей паралельного методу  $Y-\Delta$  перетворювання для побудови макромоделей неелектричних складових МЕМС ”

Попова Олександра Олександровича

### **Актуальність роботи**

В зв'язку з тим, що мікроелектромеханічні системи (МЕМС) набувають широкого розповсюдження в різних галузях науки та техніки, зростають вимоги до сучасних САПР щодо можливості сумісного розрахунку механічних та електричних компонентів. Для цього, всі підсистеми об'єкту, що досліджується, повинні бути представлені у вигляді еквівалентних моделей однієї й тієї ж природи. Найчастіше для побудови моделей об'єктів складної фізичної природи застосовується метод електромеханічних аналогій, проте його використання потребує наявності схемних реалізацій моделей неелектричних блоків. Більшість САПР, які використовуються для проектування механічних систем, при побудові математичної моделі використовують метод кінцевих елементів. Однак в цьому випадку постає проблема – величезні розміри математичних моделей, що досягають сотні тисяч рівнянь. Єдиним можливим виходом із цієї ситуації являється скорочення розмірності математичної моделі МЕМС та отримання її схемного аналога у вигляді макромоделі. Тому розробка та дослідження ефективності методів побудови схемних еквівалентів неелектричних складових макромоделей МЕМС є актуальною проблемою на сьогодні.

### **Мета роботи**

Метою роботи є розробка і дослідження особливостей паралельного методу  $Y-\Delta$  перетворення для побудови схемних еквівалентів макромоделей неелектричних

складових MEMC та екстрагованих схем із топологій (з великою щільністю електронних компонентів) на кристалі, що мають великі розміри математичних моделей.

### **Задачі, що розв'язуються в роботі**

1. Дослідження особливостей існуючих алгоритмів скорочення розмірів математичних моделей складних об'єктів та вибір опорного алгоритму для паралельної реалізації.
2. Розробка ефективної модифікації алгоритму А. Санжованні-Вінсентеллі, яка дозволяє розділити вихідну задачу на підзадачі однакового розміру та з мінімальною кількістю вузлів зв'язку.
3. Розробка паралельного алгоритму скорочення RLC-схем заміщення макромоделей MEMC та екстрагованих схем з кристалу для отримання схемного аналога у вигляді макромоделі.
4. Дослідження ефективності розробленого алгоритму паралельного скорочення RLC-схем по часу і точності на базі вирішення тестових завдань.

### **Досягнуті результати**

Розв'язавши задачі, що поставлені в роботі, автор захищає:

- розроблену модифікацію алгоритму А. Санжованні-Вінсентеллі, яка дає змогу розпаралелити паралельного методу Y- $\Delta$  перетворювання, а також мінімізувати вплив ефекту Гайдна, зменшивши час обчислень завдяки рівномірному балансу завантаження мультипроцесорних обчислювальних систем (МОС).
- результати досліджень ефективності паралельного методу Y- $\Delta$  перетворювання для побудови макромоделей схемних еквівалентів неелектричних складових MEMC та екстрагованих схем із топологій на кристалі;

- результати дослідження ефективності застосування паралельної реалізації алгоритму  $Y-\Delta$  перетворювання на МОС (на суперкомп'ютері НТУУ "КПІ") в порівнянні з базовим алгоритмом на тестовому наборі прикладів.

## **Наукова новизна роботи**

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

- проаналізовані проблеми використання існуючих алгоритмів скорочення розмірів математичних моделей складних об'єктів проектування при великих розмірностях їх математичних моделей, що характерно для еквівалентних схем неелектричних складових МЕМС із багатьма ступенями свободи та складною геометрією;
- розроблено модифікацію алгоритму Санжованні-Вінсентеллі, яка може застосовуватися для легкого розпаралелювання багатьох чисельних алгоритмів і на відміну від базової версії забезпечує ефективне розбиття на блоки рівного розміру із мінімально можливим обрамленням в залежності від структурного графу схеми і числа розбиття на блоки.
- розроблено паралельний метод  $Y-\Delta$  перетворення, на базі викладеної модифікації алгоритму А. Санжованні-Вінсентеллі, що дозволила істотно зменшити час обчислень. При цьому, точність скорочення із застосуванням паралельного алгоритму не поступається базовому і переважає його, особливо на сформованих макромоделях еквівалентних схем заміщення великої розмірності, де час і точність базового алгоритму бажають кращого.
- розроблені рекомендації по керуванню точності і швидкості отримання кінцевої макромоделі в залежності від параметрів розробленого паралельного методу.

## Практична цінність роботи

Практична цінність роботи полягає в тому, що:

- експериментально доведена ефективність розробленої програмної реалізацію паралельного алгоритму скорочення RLC-схем на основі Y-Δ перетворень, що дозволила істотно зменшити час обчислень (до 180 разів для схеми із 4014 вузлів і  $\approx 94$  тисячі елементів) на тестовому наборі прикладів. Окрім цього на практиці доведено, що розроблена паралельна реалізація алгоритму скорочення RLC-схем на основі Y-Δ перетворень дозволяє формувати макромоделі еквівалентних схем заміщення надвеликої розмірності (наприклад 180803 вузлів і  $\approx 6.8$  млн. елементів), які за допомогою базового алгоритму не можливо було отримати.
- експериментально доведена ефективність розробленої модифікації алгоритму Санжованні-Вінсентеллі по результатам застосування програмної реалізації паралельного методу Y-Δ перетворення на тестовому наборі прикладів;
- на практиці доведено, що коефіцієнт прискорення паралельного методу Y-Δ перетворення не обмежується законом Амдала, тому що значно зменшується кількість обчислень при паралельній реалізації.

## Висновки

1. Проаналізовані основні методи та алгоритми скорочення математичних моделей МЕМС з точки зору їх ефективності, можливості адаптації до існуючих систем САПР, зокрема пакетів схемотехнічного проектування, можливостей використання для об'єктів надвеликої розмірності, та в якості базового обрано метод RLC скорочення на базі Y-Δ перетворення.

2. Розроблено модифікацію алгоритму А. Санжованні-Вінсентеллі, яка дає змогу ефективно розпаралелити паралельний методу Y-Δ перетворювання, й окрім того може застосовуватися для легкого розпаралелювання багатьох чисельних

алгоритмів, а також мінімізувати вплив ефекту Гайдна, зменшивши час обчислень завдяки рівномірному балансу завантаження МОС.

3. Розроблено програмну реалізацію паралельного методу Y-Δ перетворення, на базі викладеної модифікації алгоритму А. Санжованні-Вінсентеллі, що дозволила істотно зменшити час обчислень на тестовому наборі прикладів. Приведені результати показують, що точність скорочення із застосуванням паралельного алгоритму не поступається базовому, і що він дозволяє формувати макромоделі еквівалентних схем заміщення надвеликої розмірності, показуючи результат там, де для базового послідовного алгоритму він просто відсутній.

Робота містить 118 с., 77 рис., 36 джерел.

Ключові слова: МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ, МЕМС, ПАРАЛЕЛЬНИЙ МЕТОД, Y-Δ ПЕРЕТВОРЮВАННЯ, RLC, САНЖОВАННІ, ВІНСЕНТЕЛЛІ, ALLTED, МАКРОМОДЕЛЬ, ANSYS.