

## **РЕФЕРАТ**

магистерской аттестационной работы

на тему:

“ Исследование особенностей параллельного метода  $Y$ - $\Delta$  преобразования для построения макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС ”

Попова Александра Александровича

### **Актуальность работы**

В связи с тем, что микроэлектромеханические системы (МЭМС) получают широкое распространение в различных областях науки и техники, растут требования к современным САПР о возможности совместного расчета механических и электрических компонентов. Для этого, все подсистемы исследуемого объекта, должны быть представлены в виде эквивалентных моделей одной и той же природы. Зачастую для построения моделей объектов сложной физической природы применяется метод электромеханических аналогий, однако его использование требует наличия схемных реализаций моделей неэлектрических блоков. Большинство САПР, которые используются для проектирования механических систем, при построении математической модели используют метод конечных элементов. Однако в этом случае возникает проблема - огромные размеры математических моделей, достигающие сотни тысяч уравнений. Единственным возможным выходом из этой ситуации является сокращение размерности математической модели МЭМС и получение его схемного аналога в виде макромоделей. Поэтому разработка и исследование эффективности методов построения схемных эквивалентов неэлектрических составляющих макромоделей МЭМС является актуальной проблемой в наше время.

## **Цель работы**

Целью работы является разработка и исследование особенностей параллельного метода  $Y$ - $\Delta$  преобразования для построения схемных эквивалентов макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС и экстрагированных схем с топологий (с большой плотностью электронных компонентов) на кристалле, имеющие большие размеры математических моделей.

## **Задачи, решаемые в работе**

1. Исследование особенностей существующих алгоритмов сокращения размеров математических моделей сложных объектов и выбор опорного алгоритма для параллельной реализации.
2. Разработка эффективной модификации алгоритма А. Санжованни-Винсентелли, которая позволяет разделить исходную задачу на подзадачи одинакового размера и с минимальным количеством узлов связи.
3. Разработка параллельного алгоритма сокращения RLC-схем замещения макромоделей МЭМС и экстрагированных схем из кристалла для получения схемного аналога в виде макромодели.
4. Исследование эффективности разработанного алгоритма параллельного сокращения RLC-схем по времени и точности на базе решения тестовых задач.

## **Достигнутые результаты**

Решив задачи, поставленные в работе, автор защищает:

- разработанную модификацию алгоритма А. Санжованни-Винсентелли, позволяющая распараллелить параллельный метод  $Y$ - $\Delta$  преобразования, а также минимизировать влияние эффекта Гайдна, уменьшив время

вычислений благодаря равномерному балансу загрузки мультипроцессорных вычислительных систем.

- результаты исследований эффективности параллельного метода Y-Δ преобразования для построения макромоделей схемных эквивалентов неэлектрических составляющих МЭМС и экстрагированных схем с топологий на кристалле;
- результаты исследования эффективности применения параллельной реализации алгоритма Y-Δ преобразования на мультипроцессорных вычислительных системах (на суперкомпьютере НТУУ "КПИ") по сравнению с базовым алгоритмом на тестовом наборе примеров.

### **Научная новизна работы**

Научная новизна работы заключается в том, что:

- проанализированы проблемы использования существующих алгоритмов сокращения размеров математических моделей сложных объектов проектирования при больших размерностях их математических моделей, что характерно для эквивалентных схем неэлектрических составляющих МЭМС со многими степенями свободы и сложной геометрией;
- разработана модификация алгоритма Санжованни-Винсентелли, которая может применяться для легкого распараллеливания многих численных алгоритмов и в отличие от базовой версии обеспечивает эффективное разбиение на блоки равного размера с минимально возможным обрамлением в зависимости от структурного графу схемы и числа разбиение на блоки.
- разработан параллельный метод Y-Δ преобразования, на базе изложенной модификации алгоритма А. Санжованни-Винсентелли, позволившая существенно уменьшить время вычислений. При этом, точность сокращения с применением параллельного алгоритма не уступает базовому и превосходит его, особенно на сложившихся макромоделей эквивалентных

схем замещения большой размерности, где время и точность базового алгоритма желают лучшего.

- разработаны рекомендации по управлению точности и скорости получения конечной макромодели в зависимости от параметров разработанного параллельного метода.

## **Практическая ценность работы**

Практическая ценность работы заключается в том, что:

- экспериментально доказана эффективность разработанной программной реализации параллельного алгоритма сокращения RLC-схем на основе Y-Δ преобразований, позволила существенно уменьшить время вычислений (до 180 раз для схемы с 4014 узлов и  $\approx 94\,000$  элементов) на тестовом наборе примеров. Кроме этого на практике доказано, что разработанная параллельная реализация алгоритма сокращения RLC-схем на основе Y-Δ преобразований позволяет формировать макромодели эквивалентных схем замещения сверхбольшой размерности (например 180803 узлов и  $\approx 6.8$  млн. элементов), которые с помощью базового алгоритма невозможно было получить.
- экспериментально доказана эффективность разработанной модификации алгоритма Санжованни-Винсентелли по результатам применения программной реализации параллельного метода Y-Δ превращения в тестовом наборе примеров;
- на практике доказано, что коэффициент ускорения параллельного метода Y-Δ преобразования не ограничивается законом Амдала, так как значительно уменьшается количество вычислений при параллельной реализации.

## **Выводы**

1. Проанализированы основные методы и алгоритмы сокращения математических моделей МЭМС с точки зрения их эффективности, возможности адаптации к существующим системам САПР, в частности пакетов схемотехнического проектирования, интерфейса для объектов сверхбольшой размерности, и в качестве базового выбран метод RLC сокращение на базе Y-Δ преобразования .

2. Разработано модификацию алгоритма А. Санжованни-Винсентелли, позволяющая эффективно распараллелить параллельный метода Y-Δ преобразования, и кроме того может применяться для легкого распараллеливания многих численных алгоритмов, а также минимизировать влияние эффекта Гайдна, уменьшив время вычислений благодаря равномерному балансу загрузки мультипроцессорных вычислительных систем.

3. Разработано программную реализация параллельного метода Y-Δ преобразования, на базе изложенной модификации алгоритма А. Санжованни-Винсентелли, позволившая существенно уменьшить время вычислений на тестовом наборе примеров. Приведенные результаты показывают, что точность сокращение с применением параллельного алгоритма не уступает базовому, и что он позволяет формировать макромодели эквивалентных схем замещения сверхбольшой размерности, показывая результат там, где для базового последовательного алгоритма он просто отсутствует.

Работа содержит 118 с., 77 рис., 36 источников.

Ключевые слова: МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, МЭМС, ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ МЕТОД, Y-Δ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, RLC, САНЖОВАННИ, ВИНСЕНТЕЛЛИ, ALLTED, МАКРОМОДЕЛЬ, ANSYS.