

## РЕФЕРАТ

магистерской аттестационной работы

на тему:

“ Исследование особенностей гибридного метода построения макромоделей  
неэлектрических составляющих МЭМС ”

Кота Дмитрия Николаевича

### **Актуальность работы**

В связи с широким распространением микроэлектромеханических систем (МЭМС) в разных отраслях науки и техники, возрастают требования к современным САПР относительно 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. Чаще всего при построении 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 ее 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**

Цель работы заключается в исследовании особенностей и эффективности использования гибридного метода сокращения для построения макромоделей

неэлектрических составляющих МЭМС, выявление недостатков метода и разработка способов их устранения, разработка на этой основе универсальной макромодели и формирование рекомендаций относительно выбора ее параметров.

### **Задачи, решаемые в работе**

1. Исследование особенностей существующих алгоритмов сокращения размеров математических моделей сложных объектов.
2. Определение недостатков гибридного метода сокращения и поиск путей их устранения.
3. Разработка универсальной конечной макромодели неэлектрических составляющих МЭМС.
4. Экспериментальное исследование разработанной универсальной макромодели на основе решения тестовых заданий.
5. Экспериментальное исследование эффективности применения гибридного метода для построения макромоделей схем, сокращенных алгоритмом Y-Δ преобразования.

### **Достигнутые результаты**

Выполнив задания, поставленные в работе, автор защищает:

- результаты анализа гибридного метода построения макромоделей схемных эквивалентов неэлектрических составляющих МЭМС;
- универсальную макромодель механических составляющих МЭМС, которая обеспечивает постоянную структуру интерпретированной эквивалентной схемы и повышенную точность моделирования;
- результаты исследования эффективности универсальной макромодели на тестовых примерах;
- результаты исследования эффективности применения гибридного метода сокращения в комбинации с алгоритмом Y-Δ преобразования.

## **Научная новизна работы**

Научная новизна работы заключается в том, что:

- проанализированы проблемы использования гибридного метода при плохой обусловленности матрицы проводимости схемы, что характерно для эквивалентных схем неэлектрических составляющих МЭМС;
- разработано универсальную макромодель, которая:
  - имеет отличную от существующих топологию и количество двухполюсных компонентов;
  - обеспечивает повышенную точность моделирования на конкретных частотах;
  - дает возможность управлять точностью конечного результата.
- разработан комплексный метод, включающий в себя алгоритм Y-Δ преобразования на первом этапе и гибридный метод на втором этапе, позволяющий строить макромодели неэлектрических составляющих МЭМС для исходных данных большой размерности.

## **Практическая ценность работы**

Практическая ценность работы заключается в том, что:

- экспериментально доказана эффективность разработанной универсальной макромодели, показано влияние ее параметров на точность конечного результата;
- экспериментально исследована эффективность применения гибридного метода для построения макромоделей схем, сокращенных алгоритмом Y-Δ преобразования.

## Выводы

1. Проанализированы основные методы и алгоритмы сокращения математических моделей МЭМС с точки зрения их эффективности, возможности адаптации к существующим системам САПР, в частности пакетам схемотехнического проектирования, возможностей использования для объектов сверхбольшой размерности.

2. Исследован гибридный метод построения макромоделей эквивалентных схем. Выявлены его недостатки и предложены подходы для их устранения. На основе этого разработана универсальную макромоделю механических составляющих МЭМС, которая обеспечивает постоянную структуру интерпретированной эквивалентной схемы и повышенную точность моделирования.

3. Экспериментально, на основе расчетов тестовых примеров, доказана эффективность разработанной универсальной макромодели. Приведены результаты свидетельствуют, что при ее использовании значительно возрастает точность в сравнении с базовой макромоделью.

4. Результаты экспериментов показывают, что применение параллельного алгоритма Y-Δ преобразования для начального сокращения эквивалентных схем с дальнейшим формированием макромодели с помощью гибридного метода позволяет значительно уменьшить как время построения макромодели, так и относительную погрешность сокращения.

Работа содержит 98 с., 72 рис., 27 источников.

Ключевые слова: МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ГИБРИДНЫЙ МЕТОД СОКРАЩЕНИЯ, Y-Δ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ALLTED, МАКРОМОДЕЛЬ.