

## **Реферат**

магистерской аттестационной работы на тему:

«Исследование методов построения схемных эквивалентов неэлектрических

составляющих макромоделей МЭМС»

Ладогубца Александра Владимировича

### **Актуальность работы**

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) представляют собой отрасль современной техники, которая быстро развивается. Но при проектировании современных устройств важную роль играет возможность использования единого инструментария для моделирования объектов с блоками различной физической природы. Это требует представления всех подсистем в виде эквивалентных моделей одной и той же природы. На этапе схемотехнического проектирования для формирования математической модели объекта проектирования сложной физической природы используется метод электромеханических аналогий. Но это требует наличия схемных реализаций моделей неэлектрических блоков. Большинство САПР, которые используются для проектирования механических систем, при построении математической модели используются метод конечных элементов. Однако, главная проблема при этом - огромные размеры математических моделей, достигающие сотен 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 достаточно актуальной проблемой.

### **Цель работы**

Целью работы является исследование особенностей алгоритма  $Y-\Delta$  преобразования для построения схемных эквивалентов макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС с точки зрения точности и времени получения результата, построение на этой

основе эффективных процедур алгоритма выбора сокращаемых узлов, и разработка рекомендаций по уточнению параметров полученных макромоделей с помощью оптимизационных процедур.

### **Задачи, решаемые в работе:**

1. Исследование особенностей существующих алгоритмов сокращения размеров математических моделей сложных объектов.
2. Исследование особенностей отдельных этапов  $Y-\Delta$  преобразования, которые больше всего влияют на время получения результата, и конечную погрешность.
3. Разработка и экспериментальное исследование эффективных модификаций алгоритма выбора сокращаемых узлов.
4. Исследование влияния количества параметров, которые изменяются, размера возможного диапазона их существования и размера выборки на эффективность использования метода случайного поиска с уменьшением интервала поиска для уточнения параметров схемных реализаций макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС.
5. Разработка рекомендаций по уточнению параметров полученных макромоделей с помощью оптимизационных процедур пакета ALLTED.

### **Достигнутые результаты**

Решив задачи, поставленные в работе, автор защищает:

- результаты анализа отдельных этапов процедуры  $Y-A$  преобразования для построения схемных эквивалентов макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС, определяющие погрешность конечной макромоделели и времени ее получения;
- две модификации (модификация 2 и 3) алгоритма выбора сокращаемых узлов, обеспечивающих значительное уменьшение количества элементов в процессе  $Y-\Delta$  преобразования и не приводящие к увеличению погрешности;

- результаты исследования эффективности предложенных модификаций алгоритмов выбора сокращаемых узлов на примерах построения схемных аналогов макромоделей четырех механических узлов;
- результаты исследования влияния качества, количества варьируемых параметров, размера диапазонов их изменения и размера выборки на эффективность решения задач параметрической оптимизации макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС с помощью метода случайного поиска с уменьшением интервала поиска.
- рекомендации по использованию блока оптимизации пакета ALLTED для уточнения параметров схемных аналогов макромоделей механических составляющих МЭМС.

### **Научная новизна работы**

Научная новизна работы заключается в том, что:

- выявлены и проанализированы отдельные этапы процедуры  $Y-\Delta$  преобразования для построения схемных эквивалентов макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС, определяющие погрешность конечной макромоделей и времени ее получения;
- разработано две модификации (модификация 2 и 3) алгоритма выбора сокращаемых узлов, обеспечивающих значительное уменьшение количества элементов в процессе  $Y-\Delta$  преобразования и не приводящие к увеличению погрешности, которые отличаются от существующих:
  - методикой определения множества узлов на каждом шаге  $Y-\Delta$  преобразования, которые могут подлежать сокращению.
  - критериями выбора узла, подлежащего сокращению из множества возможных.
- разработаны рекомендации по уточнению параметров полученных макромоделей с помощью оптимизационных процедур пакета ALLTED.

### **Практическая ценность работы**

Практическая ценность работы заключается в том, что:

- экспериментально исследована и доказана эффективность предложенных модификаций алгоритма выбора сокращаемых узлов;
- экспериментально исследованы влияние количества варьируемых параметров, размер возможного диапазона их существования и размера выборки на эффективность использования метода случайного поиска с уменьшением интервала поиска для уточнения параметров схемных реализаций макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС.

## **Выводы**

1. Проанализированы основные методы и алгоритмы сокращения размера математических моделей неэлектрических составляющих МЭМС с точки зрения их эффективности, возможности адаптации к существующим системам САПР, в частности пакетов схемотехнического проектирования, интерфейса для объектов сверхбольшой размерности.
2. Проанализированы особенности использования процедуры  $Y-\Delta$  преобразования для построения схемных эквивалентов макромоделей неэлектрических составляющих МЭМС и определены отдельные этапы, которые определяют погрешность конечной макромодел и времени ее получения. Предложены две модификации (модификация 2 и 3) алгоритма выбора сокращаемых узлов, обеспечивающих значительное уменьшение количества элементов в процессе  $Y-\Delta$  преобразования и не приводящие к увеличению погрешности
3. Экспериментально, на примерах построения схемных аналогов макромоделей четырех механических узлов, доказана эффективность предложенных модификаций алгоритмов выбора сокращаемых узлов.
4. Экспериментально, с помощью решения тестовых задач оптимизации схемных аналогов макромоделей механических составляющих МЭМС, исследовано влияние качества, количества варьируемых параметров, размера диапазонов их изменения и размера выборки на результаты решения тестовых задач с помощью метода случайного поиска с уменьшением интервала поиска.

5. Разработаны рекомендации по использованию блока оптимизации пакета ALLTED для уточнения параметров схемных аналогов макромоделей механических составляющих МЭМС.

Работа содержит 113 с., 43 рис., 36 табл., 33 источника.

**Ключевые слова:** МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, Y-Δ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ППП ALLTED, ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, МАКРОМОДЕЛИ.