

Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

УДК 621.396; 621.8

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЭС НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

А.К. Гришко

Пензенский государственный университет
Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

E-mail: alexey-grishko@rambler.ru

При проектировании печатного узла одной из важных задач, от которой зависит надежность и работоспособность изделия, является оптимальное размещение элементов на заданной площади. При этом необходимо учитывать целый комплекс взаимосвязанных параметров, таких как устойчивость элемента к механическим нагрузкам, тепловыделение, электромагнитная совместимость. В отличие от задачи трассировки межэлементных соединений, для которой существуют известные, апробированные решения, для задачи размещения элементов нет решений, которые учитывали бы комплекс вышеуказанных параметров. В работе рассматривается модель комплексного учета внешних воздействий на элементы конструкций радиоэлектронных средств для задачи определения оптимальной компоновки элементов на печатном узле. Предлагается многослойная геоинформационная модель, учитывающая тепловые, механические и СВЧ-воздействия. Описывается алгоритм, позволяющий получить оптимальную по выбранным критериям компоновку печатного узла.

Ключевые слова: печатный узел, оптимизация, механические воздействия, тепловые воздействия, СВЧ, математическое моделирование.

Темпы развития современной техники, особенно для ответственных применений, вынуждают разработчиков проектировать и производить РЭС в достаточно короткие сроки. При этом для РЭС, использующихся на подвижных объектах, необходимо проводить большой комплекс испытаний при различных видах воздействий (удары, вибрации, нагрев и многое другое) [1]. На это уходят большие ресурсы, как материальные, так и временные, что сказывается на сроках разработки и конечной цене изделия.

Наиболее эффективно применение средств информационного взаимодействия на начальных этапах разработки [2, 3], когда происходит выбор альтернативных вариантов исполнения изделия, подбор параметров конструкции и т. п. В этом случае существенно возрастает значение проектных исследований, причем важную роль играет совершенство методов анализа.

Алексей Константинович Гришко (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Конструирование и производство радиоэлектронной аппаратуры».

При проектировании печатного узла одной из важных задач, от которой зависит надежность и работоспособность изделия, является оптимальное размещение элементов на заданной площади. При этом конструктор должен учитывать целый комплекс взаимосвязанных параметров, таких как устойчивость элемента к механическим нагрузкам, тепловыделение, электромагнитная совместимость. В отличие от задачи трассировки межэлементных соединений, для которой существуют известные, апробированные решения, для задачи размещения элементов нет решений, которые учитывали бы комплекс вышеуказанных параметров.

Следует отметить, что в ряде случаев размещение элементов на плате уже определяется параметрами конструктива вышестоящего уровня (расположение разъемов, радиаторов, антенных модулей и т. д.). При этом оставшиеся элементы также могут и должны быть размещены на плате оптимальным образом для получения максимальной надежности печатного узла.

Математическое моделирование позволяет проводить исследование на ранних этапах проектирования [4] и дает хороший эффект, поскольку появляется возможность проведения проектных исследований без использования макетов и опытных образцов, возможность использования аппарата имитации для воспроизведения на ЭВМ функционирования проектируемых объектов с помощью системы математических моделей.

Постановка задачи и цели

В данной работе предлагается концептуальная модель изделия, на основе которой создается методика оптимального размещения элементов на печатном узле.

По результатам анализа было выявлено 3 группы факторов, которые необходимо учесть при построении концептуальной модели. Это механические параметры, тепловые параметры и параметры электромагнитной совместимости.

Так как печатный узел устанавливается внутри блока с различными видами креплений (четырёхточечное, пятиточечное и др.), то необходимо оценить предварительную картину механических воздействий на печатный узел. Для этого проводится анализ блока с применением средств САЕ и определяются воздействия в точках крепления печатного узла. Далее проводится анализ пластины без элементов и получение резонансных частот данной пластины.

Для этапа теплового анализа печатного узла проводится построение внутриблочного теплового поля с учетом допустимых по техническому заданию воздействий, в том числе термоударов [5, 6]. Эта предварительная картина используется для дальнейшей оптимизации размещения элементов.

В методике предлагается ввести этап предварительного анализа, который позволяет оценить начальные условия и необходимость более глубокого моделирования с применением различных методов оптимизации, в частности градиентной [7, 9].

К числу основных функций, реализуемых в процессе проектирования с помощью модели, относятся оптимизации объекта проектирования, например узла на печатной плате. Решение подобных задач вызывает серьезные математические и технические трудности, связанные с большой размерностью задач и отсутствием аналитических зависимостей. Но можно использовать некоторые факторы, упрощающие постановку задачи и определяющие системный подход к решению поставленной проблемы.

В задачах проектирования РЭС во многих случаях нет необходимости поиска глобального оптимума: во-первых, вектор переменных проектирования, доставляющий глобальный минимум функционалу, может соответствовать неоправданному с технической точки зрения решению; во-вторых, в ряде случаев глобальный минимум может иметь узкий «овраг», в результате чего возникает опасность неустойчивого состояния объекта при отклонении переменных проектирования.

В большинстве практических случаев конструктор обычно не располагает широким выбором вариантов. При проектировании нестационарных РЭС часто применяется система базовых несущих конструкций, определенная нормативно-технической документацией соответствующей отрасли. Поэтому в данном случае исходный вариант конструкции, как правило, известен и оптимизация сводится к выбору или улучшению некоторых ее параметров [1, 8].

Задача оптимального проектирования сводится к нахождению вектора переменных проектирования $\{b\}$ из множества допустимых векторов, доставляющего экстремум функционалу при заданном векторе возмущений $\{\xi\}$ и заданных ограничениях [4, 8, 9]. В общем случае целевая функция (функционал) должна охватывать все сферы жизненного цикла изделия [2, 4]. Для электронной аппаратуры выбор целевой функции осложняется тем, что не всегда очевидна взаимосвязь между многими важными параметрами конструкции. Для оценки эффективности конструкции РЭС необходимы конкретные целевые функции, пригодные для широкого класса конструкций.

Выбор целевой функции можно обосновать следующими положениями. Во-первых, в каждой задаче оптимизации должна быть только одна целевая функция. Корректность задачи не нарушается при введении ограничений на отдельные компоненты целевой функции [9, 10]. Во-вторых, общую композицию целевой функции следует выбирать аддитивной, принимая гипотезу о линейном характере взаимосвязи ее компонентов (стоимости материалов и выполненных работ).

Учитывая, что все основные показатели производства имеют денежное выражение, стоимость объекта в целом можно выбрать в качестве основного компонента целевой функции.

Во многих задачах оптимального проектирования нестационарной аппаратуры в качестве целевой функции выбирается масса конструкции.

Выбор ограничений определяется техническими требованиями, условиями эксплуатации, предельными параметрами применяемых материалов.

В условия задачи должны быть включены ограничения на размеры, предельные значения потенциальных функций (перемещений, температуры), ускорений (перегрузок), функций потока (деформаций, напряжений).

В число условий включаются также уравнения состояния моделей следующего вида: $F(u, \dot{u}, \ddot{u}, \xi) = 0$ или $F(T, \dot{T}, b, \xi) = 0$, где u – перемещение, T – температура.

Система уравнений состояния является основой для моделирования физических процессов, по результатам которого производится проверка ограничений и выбор новых значений переменных проектирования.

В большинстве практических случаев задача сводится к улучшению параметров конструкции по сравнению с базовым вариантом. Целенаправленный поиск путей улучшения параметров осуществляется посредством моделирования.

Описание предмета исследования

В общем объеме разнообразной РЭА конструкционные модули первого уровня (печатные узлы, микросборки) составляют не менее 70–85 % структурных элементов. Следует отметить, что защиту от внешних механических и климатических дестабилизирующих факторов осуществляют конструкции второго и третьего уровня, оборудованные системами виброизоляции и поддержания необходимого температурного режима. Но несмотря на это на элементы конструкции первого уровня действуют передаваемые через амортизаторы вибрационные и ударные нагрузки, и необходимо выяснить, какие из этих элементов могут выйти из строя под действием этих факторов. Поэтому можно считать, что именно они и должны рассматриваться как основные объекты, для которых в первую очередь и необходимо определять их функциональные характеристики и решать задачу комплексного моделирования.

Предметом исследования является комплексная модель печатного узла, учитывающая результаты теплового, механического и электромагнитного моделирования. Модель используется для получения рекомендаций по оптимальной компоновке элементов на печатном узле с учетом динамического критерия оптимальности.

Полученные результаты

В результате исследований предложена комплексная модель печатного узла, объединяющая результаты теплового, механического и высокочастотного моделирования.

На основе такой многоуровневой модели разработана методология автоинтерактивного процесса компоновки печатного узла РЭС на ранних этапах проектирования, позволяющая на основе разработанных программных комплексов по расчету механических, тепловых и СВЧ-характеристик проводить обоснованный и целенаправленный синтез конструкций печатного узла, отвечающий требованиям ТЗ по механическим и тепловым ограничениям [11, 12].

Центральным звеном методологии являются разработанные методики расчета механических, тепловых и СВЧ-характеристик печатных узлов РЭС, позволяющие получить температурное поле печатного узла, поле перемещений (собственная форма), напряжений и ускорений, излучаемую СВЧ-мощность [2].

Алгоритм компоновки узла состоит в следующем.

1-й этап. На основе технического задания, эскизов, спецификации и перечня элементов готовятся исходные данные (подготовка геометрической модели).

2-й этап. Предварительный механический анализ печатной платы. Выполняется механический анализ пластины без элементов для определения резонансных частот и рекомендуемого варианта закрепления [11].

3-й этап. Предварительный тепловой анализ внутриблочного теплового поля. На его основе производится определение зон для расположения наиболее критичных к температуре элементов [5].

4-й этап. Предварительный тепловой анализ внутриблочного электромагнитного поля с точки зрения возможности выполнения условий технического задания теплового поля [6, 13]. На его основе производится уточнение зон для расположения наиболее критичных к температуре элементов.

5-й этап. На основе автоматизированного анализа данных технического задания определяются приоритеты выполнения операции компоновки на основе

данных со 2-го по 4-й этапы. На его основе производится уточнение зон для расположения наиболее критичных к температуре элементов.

6-й этап. Оптимальное размещение элементов на основе многокритериальной оптимизации в последовательности, определенной на 5-м этапе.

7-й этап. Определение необходимости повторного выполнения оптимизации.

Данная методика позволяет получить в интерактивном варианте конструирования оптимальный вариант компоновки печатного узла вследствие целенаправленного учета механических, тепловых и СВЧ-характеристик.

Предложенная методика автоматизированного определения приоритетов при решении задачи оптимизации позволяет гибко управлять процессом оптимизации в соответствии с требованиями технического задания и конкретными конструктивными ограничениями.

Заключение

Цель комплексного учета внешних воздействий на элементы конструкций радиоэлектронных средств – многокритериальное принятие решений в условиях риска на основе интеграции мультиагентного, имитационного, эволюционного моделирования и численных методов для плохо обусловленных систем линейных уравнений большой размерности с целью учета влияния внешних факторов на работу РЭС.

Для решения данной проблемы требуется создание математической модели проблемы принятия управленческих решений на основе интеграции методов мультиагентного, имитационного, эволюционного моделирования и численных методов.

Далее задача оптимального проектирования сводится к оптимизации модели, т. е. к выбору таких ее параметров, которые обеспечили бы минимум стоимости или массы проектируемого изделия при заданных условиях и ограничениях.

В большинстве практических случаев задача сводится к улучшению параметров конструкции по сравнению с базовым вариантом. Целенаправленный поиск путей улучшения параметров осуществляется посредством моделирования.

Рассматриваемая схема взаимодействия моделей позволяет более эффективно и рационально организовать проектные работы, что в конечном счете направлено на повышение качества изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Системный анализ параметров и показателей качества многоуровневых конструкций радиоэлектронных средств / *А.К. Гришко, Н.К. Юрков, Д.В. Артамонов, В.А. Канайкин* // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 77–84.
2. Методология управления качеством сложных систем / *А.К. Гришко, Н.К. Юрков, И.И. Кочегаров* // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза, 2014. – Т. 2. – С. 377–379.
3. *Гришко А.К.* Информационная поддержка изделий на этапах жизненного цикла – основа системной работы по качеству // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза, 2010. – Т. 1. – С. 281–283.
4. *Гришко А.К.* Управление принятием решений на этапах проектирования сложных изделий на основе межмодельного взаимодействия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2004.
5. Анализ моделей тепловых режимов в многоуровневых конструктивно-функциональных модулях радиоэлектронных систем специального назначения / *А.К. Гришко, В.Я. Баннов* // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза, 2013. – Т. 1. – С. 180–181.
6. К вопросу реализации метода автоматизированного выбора системы охлаждения / *Н.В. Горячев, И.И. Кочегаров, Н.К. Юрков* // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – Муром, 2013. – № 3 (25). – С. 16–20.

7. Динамическая оптимизация управления структурными элементами сложных систем / А.К. Гришко, Н.К. Юрков, Т.В. Жаикова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза, 2015. – № 4 (26). – С. 134-141.
8. Гришко А.К. Динамический анализ и синтез оптимальной системы управления радиоэлектронными средствами // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза, 2015. – № 4 (26). – С. 141-147.
9. Гришко А.К. Алгоритм управления в сложных технических системах с учетом ограничений // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза, 2014. – Т. 2. – С. 379-381.
10. Гришко А.К. Адаптивная фильтрация в задачах синтеза оптимальных систем принятия решений и управления // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза, 2009. – Т. 1. – С. 221-222.
11. Программный пакет моделирования механических параметров печатных плат / И.И. Кочегаров, Г.В. Таньков // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза, 2011. – Т. 2. – С. 334-337.
12. Структурные компоненты геоинформационных систем и их основные области применения / А.К. Гришко, А.С. Зорькин, В.Я. Баннов, В.А. Трусов // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза, 2010. – Т. 1. – С. 287-288.
13. Алгоритм пространственно-параметрического синтеза электромонтажа радиоэлектронных средств / А.К. Гришко, П.Г. Андреев, В.Я. Баннов // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза, 2015. – Т. 1. – С. 181-182.

Статья поступила в редакцию 25 июня 2015 г.

OPTIMIZING THE PLACEMENT ELEMENTS OF RES BASED MULTILEVEL GEOINFORMATION MODEL

A.K. Grishko

Penza State University
40, Krasnaya st., Penza, 440026, Russian Federation

When designing the board assembly is one of the important tasks on which depends the reliability and performance of the product is the optimal placement of elements in a given area. It should take into account a set of interrelated parameters such as resistance element to mechanical stress, heat, electromagnetic compatibility. Unlike the task trace interconnections, for which there are well-known, proven solutions to the problem of locating elements are no solutions that address the complex above parameters. This paper considers the model of integrating external impacts on the structural components of radio electronic equipment for the problem of determining the optimal layout of elements on the printing unit. Proposed multi-layered GIS model that takes into account the thermal, mechanical and microwave exposure. An algorithm that allows you to get the optimum layout for the selected criteria board assembly.

Keywords: board assembly, optimization, mechanical effects, thermal effects, microwave, mathematical modeling.

Aleksey K. Grishko (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.