

## ОТЗЫВ

официального оппонента Даниловой Евгении Анатольевны, кандидата технических наук, на диссертационную работу  
Аль-Араджи Зайнаб Хуссам Моса на тему  
«Методика комплексного анализа механических характеристик радиоэлектронных модулей на основе многослойных печатных плат», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### **Актуальность темы диссертационных исследований**

Диссертационная работа Аль-Араджи Зайнаб Хуссам Моса посвящена разработке методик, математических моделей и алгоритмов, повышающих эффективность проектирования радиоэлектронных модулей на основе многослойных печатных плат, функционирующих в условиях внешних механических воздействий.

Реалии современной экономики требуют от радиоэлектронной промышленности выпуска продукции требуемого качества в сжатые сроки. Как известно, наибольшую длительность имеет этап проектирования изделия, на котором и закладываются основные показатели надежности разрабатываемого радиоэлектронного средства.

Печатная плата, в особенности многослойная, отличается сложностью и значительным количеством составных частей и элементов структуры с протекающими в них разнородными физическими процессами. Кроме того, задача проектирования усложняется многообразием условий эксплуатации радиоэлектронного модуля, что заставляет осуществлять сложный выбор методов и средств защиты от внешних воздействий, исходя из параметров, связанных с объектом-носителем. Таким образом, перед конструктором стоит сложная задача удовлетворения часто противоречивых требований для обеспечения надежной работы аппаратуры. Современный уровень сложности

радиоэлектронной аппаратуры делает численное моделирование неотъемлемой частью процесса разработки нового изделия, однако не всегда в распоряжении конструктора имеются апробированные средства встраивания этапа моделирования в структуру проектирования радиоэлектронной аппаратуры. Одним из подходов в решении данных задач и являются разработанные методики, математические модели и алгоритмы, используемые при проектировании многослойных печатных плат, учитывающие механические внешние воздействия.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения и выводы диссертационной работы обоснованы. Обоснованность полученных научно-технических результатов подтверждено путем их сравнения с существующими теоретическими результатами, экспериментальными данными, а также экспертными оценками специалистов, полученными в ходе их обсуждения на научно-технических конференциях и семинарах.

### **Новизна и достоверность научных исследований, полученных результатов, сформулированных в диссертации**

Автором предложена методика комплексного анализа механических характеристик радиоэлектронных модулей на основе многослойных печатных плат.

К наиболее значимым результатам работы можно отнести:

1 Комплексная методика проектирования радиоэлектронных модулей на основе МПП, от этапа разработки топологии печатных плат до их испытаний, позволяющая сократить временные затраты на проектирование, отличающаяся использованием созданной базы данных прочности и надежности паяных соединений компонентов, а также системы обмена проектными данными.

2 Математические модели определения прогиба участков МПП «кассетной» конструкции, позволяющие оценить механические нагрузки на паяные выводы компонентов и тем самым выявить опасные области для установки компонентов большой площади с учетом координат установки компонентов.

3 Методика топологического проектирования МПП, в том числе «кассетной» конструкции, основанная на предварительном размещении компонентов и моделировании механических характеристик до этапа трассировки, выявлении наиболее опасных мест для компонентов с корпусами большой площади, отличающаяся определением рациональных схем крепления и координат точек крепления, а также возможностью применения ребер для увеличения жесткости

Таким образом, результаты, полученные автором в диссертационной работе, обладают научной новизной и являются достоверными. Достоверность подтверждается достаточно хорошей сходимостью результатов моделирования и экспериментов, свидетельством о регистрации программы для ЭВМ, а также актами о внедрении результатов диссертационной работы в производство.

### **Значимость диссертации для науки и практики**

Решения, полученные в работе, обеспечивают сокращение сроков проектирования многослойных печатных плат при соблюдении требований к надежности радиоэлектронного модуля и, следовательно, снижение себестоимости выпускаемой продукции и дополняют набор известных методик и алгоритмов анализа радиоэлектронных модулей, разработанных на их основе. Результаты, полученные в диссертационной работе, используются в производственном процессе АО НВП «ПРОТЕК», а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты работы рекомендуется использовать в производстве многослойных печатных плат на этапе их проектирования. Методики комплексного анализа механических характеристик конструкций радиоэлектронных модулей на основе МПП должны быть интегрированы в существующий на предприятии процесс проектирования и производства.

### **Содержание диссертации**

Рассматриваемая диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы: 138 страниц основного текста, включающего 63 рисунка, 14 таблиц. Список литературы содержит 82 наименования.

Материалы диссертации изложены в 19 опубликованных работах, из них 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 3 – в изданиях, индексируемых в библиографической базе данных Scopus, а также получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

### **Замечания по работе**

1 В п. 1.1 автором, к конструктивным решениям, повышающим жесткость печатных плат, отнесены: включение в ее конструкцию ребер жесткости, использование демпферов и заливки. Однако, два последних способа не обеспечивают увеличение собственной частоты печатной платы, а служат для уменьшения амплитуды колебаний. Таким образом, их нельзя рассматривать как пути повышения жесткости.

2 В тексте диссертации используется понятие «сильная вибрация», хотя подобная характеристика для описания вида и параметров вибрации в научно-технической и нормативной литературе не используется.

3 Недостаточно полно отражены вопросы интегрирования предложенных методик, математических моделей и алгоритмов в

существующий на предприятиях процесс проектирования и производства печатных плат. Поскольку размещение компонентов на печатной плате, кроме обеспечения виброзащиты, должно отвечать требованиям целостности сигналов, электромагнитной совместимости, теплового режима и т.д., не совсем понятен критерий приоритетности выполнения указанных требований.

4 Многослойная печатная плата представляет собой слоистую гетерогенную структуру, состоящую из материалов с различными физико-механическими свойствами. Современные пакеты численного моделирования дают возможность построения моделей, повторяющих реальную структуру материала печатной платы, при наличии значительных вычислительных мощностей компьютера. Альтернативой является подход, основанный на замене многослойной структуры одним слоем, с приведенными физическими характеристиками. Однако в диссертационной работе не отражено, каким именно способом автор учитывает сложную структуру многослойной печатной платы.

5 В задачах исследования отражен пункт разработки методики проектирования радиоэлектронных модулей на основе МПП, охватывающей этапы от топологического проектирования до испытаний, позволяющей сократить временные затраты на проектирование и включающую структуру обмена проектными данными, однако, в работе не проведена количественная оценка времени проектирования с использованием разработанной методики.

6 Значения собственных частот на рисунках 4.13-4-15 не соответствуют приведенным в таблице 4.2 значениям.

### **Заключение**

Указанные недостатки не влияют на значимость аналитических и экспериментальных результатов, полученных в ходе работы, и сделанных выводов.

Рассматриваемая работа является научно-квалификационной работой, которая содержит новый подход в решении актуальной задачи повышения эффективности процесса проектирования МПП РЭС, что в значительной мере скажется на сокращении сроков проектирования и повышении качества выпускаемой новой продукции.

Автореферат в полной мере отражает содержание работы.

Считаю, что представленная на отзыв работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет»



Данилова Евгения Анатольевна

«13» июля 2022 г.

Контактная информация: 440026, г. Пенза, ул. Красная, д.40,  
т. +7 (8412) 64-36-39, siori@list.ru

Подпись официального оппонента Даниловой Е.А. заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета

федерального государственного

бюджетного образовательного

учреждения высшего образ

«Пензенский государственный

к.т.н., доцент



Дорофеева О.С.