

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».
2. Государственная программа «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы».
3. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».
4. Антонец В.А., Нечаева Н.В. Основы коммерциализации технологий // Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Инновационная деятельность в научно-технической сфере. Коммерциализация результатов исследований и разработок». – Нижний Новгород, 2007. – С. 11–12.
5. Официальный сайт научно–исследовательской лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://talgat.org/news/климатическая-экранированная-тем-ка> (дата обращения: 12.03.2018).

МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ: ОБЗОР

Б.С. Мухамбетжанова, магистрант

*Научный руководитель Р.Р. Газизов, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»,
ассистент каф. ТУ*

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, mukhambetzhanova.95@gmail.com

Импульсные источники вторичного электропитания являются источниками интенсивных электромагнитных помех (ЭМП). Причиной является то, что многочисленные сигналы в импульсных источниках предполагают периодическую очередность импульсов. Диапазоны подобных сигналов захватывают спектр частот шириной вплоть до нескольких МГц. В том числе и маломощные импульсные источники питания создают помехи в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) [1]. По этой причине необходимо подавление высокочастотных ЭМП.

Цель работы – выполнить обзор методов подавления ЭМП в РЭА.

Предлагается эффективный метод подавления помех от питания с использованием переходных отверстий в слое земля-питание в многослойных печатных платах (ПП) [2]. Показано, что переходное отверстие в слое земля-питание имеет сильные характеристики подавления

помех от питания, целостности сигнала и эффективности обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС).

Помимо переходных отверстий предлагается другой метод подавления ЭМП – использование реактивных элементов в схеме. Выполнено моделирование, анализ и проектирование плоских конденсаторов, встроенных в многослойную ПП, для подавления помех [3]. Представлен точный и быстрый метод моделирования, анализа и проектирования для подавления помех питания с использованием встроенных плоских конденсаторов в высокоскоростные многослойные ПП. Два основных нюанса этой работы: 1) предполагается использование идеальной модели короткого замыкания переменного тока для упрощения анализа полосы пропускания, для чего получена физическая формула, и 2) вводится метод моделирования физической эквивалентной схемы для быстрой оценки уровня подавления помех в сложных многослойных структурах. Результаты подтверждены с помощью моделирования и эксперимента. Этот метод изменяет анализ сложных многоплоскостных пар, объединяя их в одну пару одиночных плоскостей, что может значительно упростить процесс проектирования встроенных плоских конденсаторов в сложных многослойных ПП.

Также известны методы подавления ЭМП с использованием особых поглощающих материалов, в частности предложена новая структура линии передачи для быстродействующих медных межсоединений с высокой плотностью монтажа [4]. В предлагаемой структуре используется поглощающий материал для подавления любых резонансов перекрестных помех, которые могут возникать из-за наводок сигнала в таких условиях плотности монтажа. Оптимальные электрические свойства такого поглощающего материала определялись с использованием исследования на основе моделирования. В этой статье также обсуждаются влияния увеличения высоты соединителя на перекрестные помехи и введение любых поглощающих материалов при потере сигнала.

Кроме того, предложен более простой метод подавления ЭМП, без добавления элементов схемы, поглощающих материалов и переходных отверстий – метод изгиба дифференциальной линии передачи с компенсацией индуктивности для эффективного подавления синфазной помехи [5]. Изогнутая дифференциальная линия передачи с компенсацией индуктивности может быть использована в качестве изогнутой дифференциальной линии передачи, используя короткозамкнутую связанную линию. Показано, что изогнутая дифференциальная линия передачи с использованием короткозамкнутой связан-

ной линии может значительно уменьшить преобразование мод от -5,47 до -14,75 дБ, а синфазные помехи во временной области от 0,068 до 0,02 В по сравнению с изогнутой дифференциальной линией передачи с использованием изгиба под прямым углом. Для проверки результатов моделирования выполнены измерения в частотных и временных областях. Результаты измерений хорошо согласуются с результатами моделирования.

Также при использовании последнего метода исследовано использование линий со ступенчатым импедансом для уменьшения синфазной помехи в согнутых связанных линиях передачи [6]. Предлагается использовать связанные линии, изогнутые под прямым углом, с периодической структурой ступенчатого импеданса для подавления, как синфазной, так и дифференциальной помех. Преимущество периодической структуры линии ступенчатого импеданса заключается в том, что он не только имеет более низкую стоимость производства и проще реализуется на двухслойной ПП, но также обеспечивает приемлемый уровень передачи и слабых отражений.

Приведенный обзор показывает актуальность необходимости подавления ЭМП в РЭА, в том числе показано, что методы подавления различны. В частности, первые три работы отличаются по методу подавления, а именно, в них используются дополнительные переходные отверстия, реактивные элементы или поглощающие материалы в ПП. Однако последние две работы схожи: в них используется метод изгиба линии передачи под прямым углом, что дает эффективный результат при подавлении ЭМП. Следует заметить, что именно с использованием последнего метода уровни подавления ЭМП наиболее высокие, а сам метод является простым и мало затратным.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р., Калимулин И.Ф. Новые решения для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2016. – 288 с.
2. Mu-Shui Zhang. Power Noise Suppression Using Power-and-Ground Via Pairs in Multilayered Printed Circuit Boards // *EEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. – Vol. 1. – P. 374–385.
3. Mu-Sui Zhang, Hong-Zhou Tan, Jun-Fa Mao. Modeling, Analysis, and Design for Noise Suppression Using Embedded Planar Capacitors in Multilayered Printed Circuit Boards. *IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. – 10 January 2014. – Vol. 4. – P. 882–891.

4. Khan Z.A. A Novel Transmission Line Structure for High-Speed High-Density Copper Interconnects // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 09 June 2016. – Vol. 6. – P. 1077–1086.

5. Chang Chia-Han. Bended Differential Transmission Line Using Compensation Inductance for Common-Mode Noise Suppression / Chia-Han Chang, Ruei-Ying Fang, Chun-Long Wang // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 25 April 2012. – Vol. 2. – P. 1518–1525.

6. Lin D.-B. Using Stepped-Impedance Lines for Common-Mode Noise Reduction on Bended Coupled Transmission Lines / D.-B. Lin, Ch.-P. Huang, H.-N. Ke // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 30 March 2016. – Vol. 6. – P. 757–766.

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ: ОБЗОР

Д.Т. Нурахмет, студент

*Научный руководитель П.Е. Орлов, доцент кафедры ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, nurakhmet1995@gmail.com*

Рассмотрены исследование и классификация источников преднамеренных электромагнитных помех [1]. Предлагаются определения, применяемые для классификации доступных источников с точки зрения их мобильности, технологического развития и уровня стоимости, с тем чтобы увидеть тенденции в развитии источников.

Оценка уязвимости критических систем к преднамеренным электромагнитным помехам вызвала значительный интерес в ЭМС сообществе за последнее десятилетие [2, 3]. Поскольку преднамеренные электромагнитные воздействия (ПДЭМВ) подразумевают использование мощных сигналов неприродного происхождения, то целесообразно начать изучение данного вопроса с исследования сверхширокополосных генераторов.

Целью данной работы – выполнить анализ потенциальных источников ПДЭМВ.

Для решения поставленной цели рассмотрены следующие вопросы:

1. Какова ожидаемая форма сигнала напряжения, которая может быть введена в кабели исследуемого объекта.
2. Какие параметры сигналов в частотной области, которые будут облучать объект.
3. Возможность перемещения источников ПДЭМВ непосредственно к объекту воздействия.
4. Сколько денежных средств потребуется злоумышленнику для приобретения ПДЭМВ источника.