

## ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Моховикова Е.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к. т. н., доцент, декан ФКП*

**Аннотация.** В статье рассматриваются ключевые проблемы, возникающие при проектировании многослойных печатных плат, а также предлагаются эффективные решения для их преодоления, которые помогут избежать распространённых ошибок и повысить качество конечного продукта.

**Ключевые слова:** Многослойные печатные платы, проектирование, перекрёстные помехи, механическое напряжение, электромагнитная совместимость.

**Введение.** Многослойные печатные платы стали критическим компонентом современной электроники из-за их способности обеспечивать более высокую плотность, улучшенную целостность сигнала, и эффективное управление температурой. Поскольку электронные устройства продолжают усложняться, конструкция многослойных печатных плат играет решающую роль в обеспечении оптимальной производительности и надёжности.

В данной статье автор разбирает проблемы проектирования многослойных плат и их решения.

**Основная часть.** Печатная плата представляет собой пластину или панель состоящую из одного или двух проводящих рисунков, расположенных на поверхности диэлектрического основания, или из системы проводящих рисунков, расположенных в объеме и на поверхности диэлектрического основания, соединенных между собой в соответствии с принципиальной электрической схемой, предназначенное для электрического соединения и механического крепления устанавливаемых на нем изделий электронной техники, квантовой электроники и электротехнических изделий - пассивных и активных электронных компонентов [1].

Многослойная печатная плата является изделием, которое обладает сложной структурой. Ее применяют при изготовлении сложных в техническом плане устройств, имеющих высокую плотность монтажа электронных элементов. Производство многослойных печатных плат подразумевает установку электронных элементов с двух сторон. Многослойные печатные платы имеют ряд преимуществ. Они обеспечивают более высокую плотность цепи, поскольку компоненты могут быть размещены на обеих сторонах платы и соединены между собой через несколько слоев. Они также обеспечивают лучшую целостность сигнала, поскольку трассы могут быть проложены на разных слоях, чтобы свести к минимуму помехи. Кроме того, многослойные печатные платы могут эффективно управлять теплом, выделяемым компонентами, благодаря наличию силовых и наземных плоскостей [2].

Однако проектирование многослойных плат сопряжено с рядом сложностей. В многослойных печатных платах, особенно в платах с низким напряжением питания, из-за электромагнитного взаимодействия между проводниками возникают перекрестные помехи. На перекрестные помехи могут влиять такие факторы как расстояние между сигнальными проводниками, между проводниками и слоями, а также длина параллельных сегментов. Высокие частоты генерируют мощные электромагнитные поля, что усугубляет перекрестные помехи, а недостаточное заземление повышает восприимчивость к ним.

Для снижения перекрестных помех можно увеличить расстояние между сигнальными проводниками, поскольку помехи уменьшаются пропорционально квадрату расстояния. Также рекомендуется прокладывать высокоскоростные сигналы по внутренним слоям многослойной платы и располагать сигнальные слои между заземляющими поверхностями. Ортогональная

укладка проводников в соседних сигнальных слоях и размещение заземляющих проводников по краям платы помогут экранировать сигналы.

В отличие от одно- и двухслойных печатных плат многослойные печатные платы могут генерировать больше тепла, что увеличивает риск выхода из строя компонентов печатной платы. Для обеспечения лучшей устойчивости к теплу, химическим веществам и влаге требуется использовать материалы с более высокой температурой стеклования. Алюминиевые печатные платы с металлической основой, используются для лучшего отвода тепла и обычно используются в светодиодных фонарях, автомобилях и высокочастотных устройствах. Многослойные алюминиевые печатные платы обеспечивают те же тепловые преимущества, что и однослойные версии, но позволяют создавать более сложные схемы.

Импедансный контроль в многослойных платах является важной задачей для обеспечения надежной передачи сигналов и предотвращения отражений. Среди основных проблем можно выделить неправильные размеры дорожек, что может привести к изменениям импеданса и, как следствие, к отражениям. Также значительное влияние оказывает диэлектрическая проницаемость материалов, так как различия в ней между слоями могут нарушить стабильность импеданса. Неправильное нанесение меди или различных слоев могут вызвать вариации в импедансе. Недостаточное внимание к распределению заземления может привести к изменениям в импедансных характеристиках. Близкое расположение сигнальных линий может вызывать нежелательные взаимодействия.

Для решения этих проблем необходимо применять точное проектирование с использованием специализированных программных инструментов для расчета ширины дорожек и расстояний до заземляющих слоев. Важно проводить тестирование диэлектрических материалов, чтобы убедиться в их стабильности и соответствии спецификациям. Контроль качества на всех этапах производства помогает минимизировать вариации, а оптимизация схемы заземления снижает влияние на импеданс. Увеличение расстояний между сигнальными линиями также помогает уменьшить нежелательные взаимодействия и улучшить целостность сигнала.

Разводка питания и земли в многослойных печатных платах может быть сложной из-за большого числа компонентов и ограниченного пространства. Необходимо обеспечить стабильное распределение питания среди всех компонентов, что требует тщательного планирования дорожек. Неправильная разводка может привести к значительным падениям напряжения и нестабильной работе устройства. Также необходимо учитывать влияние индуктивности и емкости на линии питания. Длинные и узкие дорожки могут создать дополнительные индуктивные потери, в то время как емкость между дорожками может вызывать нежелательные колебания и помехи. В платах, разработанных для обработки высокочастотных сигналов, особенно важно учитывать необходимость создания низкоимпедансного пути для возвратного тока, чтобы минимизировать влияние шумов. Кроме того, многослойные платы часто требуют использования отдельных слоев для питания и земли, что создает дополнительные сложности в проектировании. Необходимо обеспечить эффективное экранирование и минимизировать зазоры между слоями, чтобы избежать возникновения нежелательных эффектов [3].

Механическое напряжение является одной из ключевых проблем для разработчиков печатных плат. Оно может возникать на различных этапах, таких как производство, сборка или эксплуатация устройства, и приводить к деформациям, трещинам и другим дефектам. Основными причинами механического напряжения являются термические нагрузки, механические нагрузки и внутренние напряжения. Термические нагрузки возникают во время пайки и эксплуатации, когда разные материалы имеют различные коэффициенты теплового расширения, что приводит к напряжениям. Механические нагрузки, такие как вибрации или удары, особенно ощутимы в мобильных устройствах и автомобилях, где они могут вызывать усталость материалов. Внутренние напряжения могут возникать из-за неоднородности материалов или неправильного охлаждения после пайки, что со временем приводит к деформации [4].

Для минимизации механического напряжения следует использовать материалы с близкими коэффициентами теплового расширения, такие как керамические подложки, а также гибкие

материалы для устройств, подверженных изгибу. Чтобы избежать концентрации нагрузки в одной области следует оптимизировать конструкцию, усилить критичные участки и равномерно распределить компоненты. Технологические решения, такие как контроль процесса пайки и лазерное сверление, могут повысить надежность плат. Для компенсации термического расширения следует использовать эластичные крепления, а для оценки устойчивости плат к внешним воздействиям проводить тестирование, включая термоциклирование и виброиспытания [5].

Электромагнитная совместимость играет важную роль в проектировании многослойных печатных плат, обеспечивая надежность работы электронных устройств. Среди проблем электромагнитной совместимости можно выделить электромагнитные помехи, возникающие при передаче энергии от источника к восприимчивым системам, что может вызвать сбои в работе. Частыми причинами отказов являются излучаемые помехи, чувствительность к шумам и электростатический разряд. Проводящие помехи возникают из-за взаимодействия электромагнитных полей между соседними линиями передачи, а синфазные помехи в высокочастотном диапазоне представляют собой сложную проблему, которую трудно обнаружить. Плохо спроектированные схемы также часто становятся источником проблем с электромагнитной совместимостью.

Использование многослойных печатных плат с выделенными слоями для питания и заземления способствует созданию путей обратного тока с низким импедансом. Благодаря экранированию с помощью слоя заземления и правильному подключению компонентов к земляной шине уменьшаются помехи. Соседство слоев питания и обратного тока, а также использование сетевой структуры между слоями проводки способствуют снижению электромагнитных помех. Эффективными мерами в схемах с низковольтными и высокоскоростными передачами сигналов являются учёт источников помех и путей их распространения, а также применение зонирования и локального экранирования.

Грамотный подход к решению проблем позволит создать конкурентноспособные и эффективные электронные устройства, соответствующие современным требованиям.

**Заключение.** Выполнен анализ проблем проектирования многослойных печатных плат. Определенно, что каждый этап разработки следует выполнять грамотно и в соответствии с правилами, чтобы не возникало перечисленных в данной статье проблем. Предложены решения проблем проектирования многослойных печатных плат, которые помогут быстро урегулировать возникшие проблемы.

#### **Список литературы**

1. Брусницына, Л. А. *Технология изготовления печатных плат* / Л. А. Брусницына, Е. И. Степановских. Уральский федеральный университет, 2015. 200 с.
2. *Печатные платы: Справочник* / Под редакцией К. Ф. Кумбза. Москва: Техносфера, 2018. 1016 с.
3. *Технологии и подготовка производства печатных плат* / В. П. Крылов. Владимирский государственный университет, 2006. – 64с.
4. *Печатные платы: конструкции и материалы* / А. М. Медведев. Москва: Техносфера, 2004. 302 с.
5. *Технология производства печатных плат* / А. М. Медведев. Москва: Техносфера, 2004. 358 с.

UDC 621.3.049.75:655.226.43

## **PROBLEMS AND SOLUTIONS IN DESIGN MULTILAYER PRINTED BOARDS**

*Mohovikova E.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Likhachevsky D.V. – Cand. of Sci., Associate Professor, Dean of the FCAD*

**Annotation.** The article discusses the key problems that arise when designing multilayer printed circuit boards, and also proposes effective solutions to overcome them, which will help avoid common mistakes and improve the quality of the final product.

**Keywords:** Multilayer printed circuit boards, design, cross effects, mechanical stress, electromagnetic effects.