



УДК 621.37
doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-16



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Рекомендации при проектировании печатных плат

Станислав Дмитриевич Кузнецов

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
siori@list.ru

Виталий Олегович Малышев

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
siori@list.ru

Асылан Бисешович Балгожиев

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
siori@list.ru

Аннотация. Рассмотрены базовые рекомендации по проектированию печатных плат, которые обеспечивают производительность на всех этапах изготовления и сборки. Описаны важные аспекты размещения компонентов, расположения питания и заземления, контроля электрических параметров и правил разводки.

Ключевые слова: правила проектирования, печатные платы, компоновка, размещение компонентов, заземление, термическая разгрузка, группировка компонентов

Для цитирования: Кузнецов С. Д., Малышев В. О., Балгожиев А. Б. Рекомендации при проектировании печатных плат // Инжиниринг и технологии. 2024. Т. 9 (2). С. 1–6. doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-16

Recommendations for the design of printed circuit boards

Stanislav D. Kuznetsov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
siori@list.ru

Vitaly O. Malyshev

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
siori@list.ru

Asylan B. Balgozhiev

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
siori@list.ru

Abstract. Main recommendation for PCB design guidelines that ensures productivity in all phases of manufacturing and assembly were described. Important aspects of component placement, power and ground locations, electrical controls, and wiring rules are covered.

Keywords: design rules, printed circuit boards, layout, placement of components, grounding, thermal unloading, grouping of components

For citation: Kuznetsov S.D., Malyshev V.O., Balgozhiev A.B. Recommendations for the design of printed circuit boards. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2024;9(2):1–6. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-16

Введение

При проектировании высокочастотных печатных плат (ПП) выполнение правил проектирования ПП помогает обеспечить работоспособность проекта и возможность его массового производства. Изложенные далее рекомендации по проектированию ПП и расположению компонентов применимы к большинству современных плат. Для специализированных и узконаправленных проектов могут потребоваться дополнительные правила и рекомендации по компоновке, однако приведенные здесь правила проектирования являются хорошим базисом для большинства проектов [1–5].



Рекомендации направлены на определенные области:

- определение правил проектирования плат с целью обеспечения производительности при изготовлении и сборке;
- размещение компонентов с целью обеспечения удобства и простоты трассировки;
- расположение питания и заземления на печатной плате;
- группировка компонентов по типу для предотвращения необходимости трассировки по всей площади платы;
- контроль электрических правил и правил разводки.

Определение правил проектирования плат

Приступая к разработке новой ПП, иногда легко забыть о важных правилах проектирования, которые будут определять проект. Существует несколько простых требований, которые, если их определить на ранней стадии проектирования, впоследствии устранят множество сдвигов и перемещений компонентов и их перетрассировку [6–10].

Требования к проекту, в первую очередь, можно узнать из технического задания, полученного от заказчика. Далее эти требования необходимо сравнить с производственными возможностями предприятия, которое будет изготавливать ПП и производить сборку, например, наличие оборудования, позволяющего произвести плату 5-го класса точности. Как только эти моменты будут определены, следует выбрать более консервативные ограничения по компоновке платы (запретные зоны, наличие металлизации отверстий, ширина проводников и зазоров между ними и компонентами), необходимые для обеспечения технологичности и надежности, которые можно включить в свои правила проектирования платы [11–15].

По мере выполнения компоновки, правила проектирования ПП помогут устранить большинство ошибок проектирования, которые могут привести к проблемам при дальнейшем изготовлении и сборке. После определения правил оформления платы можно приступить к процессу размещения компонентов.

Точная настройка размещения компонентов

Размещение компонентов в процессе проектирования компоновки ПП – это важный этап, требующий детального рассмотрения доступного пространства на плате. Целью размещения компонентов является создание платы, которую можно легко развести, в идеале с минимальным количеством переходных отверстий между слоями. Кроме того, проект должен соответствовать правилам проектирования и удовлетворять заданным требованиям к размещению компонентов. Эти моменты могут быть трудно реализуемы, но этот процесс может помочь разработчику платы разместить компоненты, руководствуясь следующими требованиями.

1. Сначала размещать приоритетно-позиционные компоненты. Часто есть компоненты, которые необходимо размещать в определенных местах, иногда из-за механических ограничений корпуса или из-за размера самих компонентов. Поэтому лучше изначально разместить эти компоненты и зафиксировать их положение, прежде чем переходить к остальной части расстановки.

2. Разместить многовыводные процессоры и микросхемы. Такие компоненты, как микросхемы с большим количеством выводов, обычно должны быть подключены к множеству компонентов проекта (рис. 1). Централизованное расположение этих компонентов упрощает трассировку на ПП.

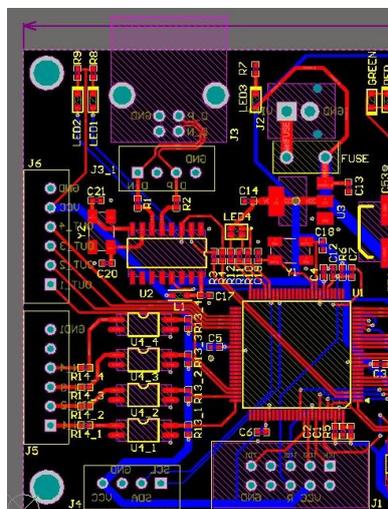


Рис. 1. Пример размещения микросхемы в программном пакете AltiumDesigner



3. Избегать пересечения цепей. Когда компоненты размещаются на топологии печатной платы, обычно видны неразведенные цепи. Лучше попытаться свести к минимуму количество пересекающихся цепей. Каждое пересечение цепи потребует перехода проводника через переходные отверстия. В случае же минимизации пересечения цепей с помощью размещения компонентов будет проще реализовать наиболее удобную трассировку ППП.

4. Правила проектирования для компонентов поверхностного монтажа (SurfaceMount, SMT, или SMD). Рекомендуется размещать все SMD-компоненты на одной стороне платы. Основная причина этого проявляется во время сборки; для каждой стороны платы потребуется отдельный проход по линии пайки SMD, поэтому размещение всех SMD-компонентов на одной стороне позволит избежать дополнительных затрат на пайку при сборке.

5. Изменять ориентацию компонентов. Можно вращать компоненты, чтобы избежать пересечения цепей. Целесообразным также является ориентация подключаемых контактных площадок так, чтобы они были обращены друг к другу, поскольку это упростит дальнейшую трассировку.

Размещение питания, «земли» и сигнальных проводников

После размещения компонентов необходимо проложить дорожки питания, заземления, а также сигнальные проводники, для обеспечения целостности прохождения сигналов. Ниже показаны некоторые рекомендации, которые следует учитывать на этом этапе проектирования.

1. Размещение слоев питания и «земли». Обычно питание и «земля» размещаются на двух внутренних слоях. При трассировке двухслойной платы следует разместить большой заземляющий полигон на одном слое, а затем развести сигнальные и силовые дорожки на другом слое. При количестве слоев от четырех и более следует пользоваться заземляющими слоями, вместо того, чтобы пытаться прокладывать дорожки заземления на каждом слое. Для компонентов, которым необходимо прямое подключение к источнику питания, рекомендуется использовать общие шины для каждого источника питания.

2. Трассировка ППП. Сигнальные дорожки необходимо соединить так, чтобы они соответствовали цепям на схеме электрической принципиальной. Рекомендуется всегда размещать короткие прямые дорожки между компонентами, когда это возможно, хотя это не всегда практично для больших плат. Если расположение компонентов требует горизонтальной прокладки дорожек на одной стороне платы, всегда прокладываются дорожки вертикально на противоположной стороне. Это одно из многих важных правил проектирования двухслойных ППП.

3. Определение ширины дорожки. Необходимая ширина дорожки для разных цепей зависит от трех факторов:

- технологичность. Дорожки не должны быть слишком тонкими, это может привести к нарушению надежности трассировки;
- ток. Ток, протекающий по дорожке, определяет минимальную ширину, необходимую для предотвращения перегрева дорожки. Чем выше значение тока, тем шире должна быть дорожка;
- импеданс. Высокоскоростные цифровые сигналы или радиочастотные сигналы должны иметь определенную ширину трассы, чтобы достичь требуемого значения импеданса.

Для дорожек, которым не требуется удельный импеданс или большой ток, ширина дорожки 0,25 мм подходит для подавляющего большинства слаботочных аналоговых и цифровых сигналов.

4. Термическая разгрузка соединений со слоями. Когда сквозное металлизированное отверстие соединено с внутренними слоями «земли»/питания, при пайке они будут отводить тепло, что может затруднить пайку или демонтаж выводов компонентов. Чтобы решить эту проблему, необходимо обеспечить термоизоляцию стенок отверстий от тепловой массы внутренних проводящих слоев ППП. Это достигается путем введения небольших зазоров между отверстием и проводящим слоем, как показано на рис. 2.



Рис. 2. Термическая разгрузка



Необходимость введения термического барьера на любом компоненте со сквозным отверстием будет зависеть от размера медной плоскости или полигона, которые будут соединяться с внутренним слоем.

Разделение и группировка компонентов

Существуют определенные рекомендации по трассировке ПП относительно группировки и разделения компонентов и дорожек в целях обеспечения простоты трассировки и предотвращения электрических помех. Эти рекомендации также помогут в регулировании температурного режима, поскольку может потребоваться разделить компоненты с высокой выделяемой мощностью.

Некоторые компоненты лучше всего размещать, сгруппировав их в одной области платы. Дело в том, что они могут быть частью блока схемы и могут подключаться только друг к другу, поэтому нет необходимости размещать компоненты на разных сторонах или участках платы.

Целесообразно также разделить компоненты, которые будут рассеивать много тепла на плате, в разные области. Идея разделения этих мощных компонентов заключается в том, чтобы выровнять температуру по всей ПП, а не создавать отдельные области с высокой температурой, где «горячие» компоненты сгруппированы вместе. Этого можно добиться, заранее найдя значения «термического сопротивления» в техническом условии конкретного компонента и рассчитав повышение температуры исходя из предполагаемого рассеивания тепла. Для снижения температуры компонентов можно добавить радиаторы и охлаждающие вентиляторы.

Завершение разработки и компоновки печатной платы

К концу разработки проекта необходимо проверить плату на наличие ошибок. Процесс контроля качества всегда рекомендуется начинать с проверки электрических правил (ElectricalRulesCheck, ERC) и правил разводки (DesignRulesCheck, DRC), чтобы убедиться, что были выполнены все установленные ограничения. С помощью этих двух систем можно легко определить ширину зазора, ширину дорожки и другие требования для конкретного проекта. Если после проверок ERC и DRC будут отсутствовать ошибки, рекомендуется проверить трассировку каждой цепи, чтобы убедиться в том, что ничего не упустили. Для этой цели и выполняется прорисовка электрической принципиальной схемы в таких системах разработки плат, как AltiumDesigner. Если принципиальная схема создана правильно, то наверняка и ПП не будет содержать грубых ошибок после успешного прохождения тестов ERC и DRC.

Заключение

Быстрое развитие технологий изготовления устройств миллиметрового диапазона ведет к росту спроса на высокопроизводительные многослойные ПП. Выше были приведены основные рекомендации по разводке ПП, которые применимы к большинству проектов. Хотя список рекомендаций невелик, эти рекомендации помогут быстро продвинуться на пути к созданию функциональной, пригодной для производства платы. Эти рекомендации по проектированию печатных плат лишь поверхностны, но они формируют основу для построения и закрепления практики постоянного совершенствования всех методов проектирования.

Список литературы

1. ГОСТ Р 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции: Национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2010-07-01 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Изд. Официальное. М : Стандартинформ, 2010. 11 с.
2. Ардизони Д. Практическое руководство по разработке печатных плат для высокочастотных схем // Компоненты и технологии. 2007. № 12. С. 157–161.
3. Шихов С. Материалы и производственные процессы плат для СВЧ-приложений // СВЧ-электроника. 2022. № 3. С. 49–55.
4. От идеи до изготовления – процесс проектирования печатных плат в AltiumDesigner // AltiumDesigner. URL: <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/tutorial-complete-design-walkthrough?version=19.0> (дата обращения: 11.06.2023).
5. Требования к проектированию печатных плат // GOSTOST.RU Бесплатная документация для предприятий и организаций. URL: <https://gostost.ru/pechatnie-platy/> (дата обращения: 10.06.2023).



6. Кузнецов С. Д., Балгожиев А. Б., Малышев В. О. [и др.]. Разработка печатной платы-шаблона с применением систем автоматизированного проектирования // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 1. С. 273–275. EDN: PBUTFQ
7. Большакова В. Е., Данилова Е. А., Балгожиев А. Б. [и др.]. Конструкционные аспекты в проектировании РЭС // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 197–199. EDN: EWXVOH
8. Данилова Е. А. Информационная технология подготовки производства печатных плат // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2015. № 18. С. 397–401. EDN: TQNVYB
9. Иваницын А. А., Данилова Е. А., Горячев Н. В. Основные типы, применяемые аддитивной технологией в биоинженерии // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всерос. науч.-техн. конф. (Самара, 25–28 апреля 2023 г.). Самара : Артель, 2023. С. 137–140. EDN: NZQMBA
10. Калашникова О. П., Андреев П. Г., Юрков Н. К. [и др.]. Анализ методов экранирования и обеспечения электромагнитной совместимости // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. Седьмой Всерос. молодежной науч. конф. (Тамбов, 11–12 мая 2022 г.). Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2022. С. 95–97. EDN: EYEGJR
11. Катаев К. С., Кузнецов С. Д., Кочегаров И. И. [и др.]. Общие положения и перспективы развития программируемых логических интегральных схем // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 1. С. 117–119. EDN: HRXDZP
12. Данилова Е. А., Нелюцков М. А., Тузова Д. Е. Исследование финишных защитных покрытий печатных плат // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7, № 2. С. 18–26. doi: 10.21685/2587-7704-2022-7-2-4 EDN: KTLFHU
13. Анненков А. А., Данилова Е. А. Анализ способов обеспечения виброустойчивости печатных узлов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 1. С. 262–264. EDN: XLESGA
14. Потешкина Н. С., Данилова Е. А., Юрков Н. К. [и др.] Технология нанесения жидких паяльных масок // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 298–300. EDN: TXWOQK
15. Фролов С. И., Трусов В. А., Таньков Г. В. [и др.] Методы автоматизированного синтеза компоновки блоков бортовой РЭС // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2018. Т. 2. С. 334–335. EDN: VAERPM

References

1. GOST R 53429-2009. Printed circuit boards. Main design parameters: National Standard of the Russian Federation : date of introduction 2010-07-01. *Federal'noe agentstvo po tehničeskomu regulirovaniju i metrologii. Izd. Oficial'noe = Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Official publication.* Moscow: Standartinform, 2010:11. (In Russ.)
2. Ardizoni D. A practical guide to the development of printed circuit boards for high-frequency circuits. *Komponenty i tehnologii = Components and technologies.* 2007;(12):157–161. (In Russ.)
3. Shihov S. Materials and manufacturing processes of boards for microwave applications. *SVCh-jelektronika = Microwave electronics.* 2022;(3):49–55. (In Russ.)
4. From idea to manufacture – the process of designing printed circuit boards in AltiumDesigner. *AltiumDesigner.* (In Russ.). Available at: <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/tutorial-complete-design-walkthrough?version=19.0> (accessed 11.06.2023).
5. Requirements for the design of printed circuit boards. *GOSTOST.RU Besplatnaja dokumentacija dlja predpriyatij i organizacij = GOSTOST.EN Free documentation for businesses and organizations.* (In Russ.). Available at: <https://gostost.ru/pechatnie-platy/> (accessed 10.06.2023).
6. Kuznecov S.D., Balgozhiev A.B., Malyshev V.O. et al. Development of a printed circuit board template using computer-aided design systems. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality".* 2023;1:273–275. (In Russ.). EDN: PBUTFQ
7. Bol'shakova V.E., Danilova E.A., Balgozhiev A.B. et al. Structural aspects in the design of RES. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality".* 2023;2:197–199. (In Russ.). EDN: EWXVOH
8. Danilova E.A. Information technology for the preparation of printed circuit boards. *Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah = New information technologies in automated systems.* 2015;(18):397–401. (In Russ.). EDN: TQNVYB
9. Ivanicyн A.A., Danilova E.A., Gorjachev N.V. The main types used by additive technology in bioengineering. *Aktual'nye problemy radiojelektroniki i telekommunikacij: materialy Vseros. nauch.-tehn. konf. (Samara, 25–28 aprlja 2023 g.).* Samara: Artel', 2023:137–140. (In Russ.). EDN: NZQMBA
10. Kalashnikova O.P., Andreev P.G., Jurkov N.K. et al. Analysis of shielding and electromagnetic compatibility methods. *Radiojelektronika. Problemy i perspektivy razvitija: sb. tr. Sed'moj Vseros. molodezhnoj nauch. konf. (Tambov, 11–12 maja 2022 g.).* Tambov: Tambovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2022:95–97. (In Russ.). EDN: EYEGJR
11. Kataev K.S., Kuznecov S.D., Kochegarov I.I. et al. General provisions and prospects for the development of programmable logic integrated circuits. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality".* 2022;1:117–119. (In Russ.). EDN: HRXDZP



12. Danilova E.A., Neljuckov M.A., Tuzova D.E. Investigation of the final protective coatings of printed circuit boards. *Inzhiniring i tehnologii = Engineering and technology*. 2022;7(2):18–26. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2022-7-2-4 EDN: KTLFHU
13. Annenkov A.A., Danilova E.A. Analysis of ways to ensure vibration resistance of printed components. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2019;1:262–264. (In Russ.). EDN: XLESGA
14. Poteshkina N.S., Danilova E.A., Jurkov N.K. et al. The technology of applying liquid solder masks. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2019;2:298–300. (In Russ.). EDN: TXWOQK
15. Frolov S.I., Trusov V.A., Tan'kov G.V. et al. Methods of automated synthesis of on-board RES block layout. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2018;2:334–335. (In Russ.). EDN: VAEPRM

Поступила в редакцию / Received 13.03.2024

Принята к публикации / Accepted 13.04.2024