

# Выбор материалов печатных плат: для оптимизации приложений и применения

Разнообразие материалов и технологий изготовления печатных плат (ПП) позволило производителям электроники для различных сфер применения достичь потрясающих результатов в миниатюризации, надежности, технологичности продукции. Однако начинающие разработчики часто выбирают самую дешевую печатную плату, ориентируясь на выпуск большого объема изделий, в то время как при создании прототипов важно акцентировать внимание на правильном выборе подходящих материалов для ПП. В частности, в высокоскоростных интерфейсах время прохождения сигнала крайне зависимо в том числе и от материалов печатной платы. Например, от шероховатости медных трасс, равномерности переплетения волокон и смолы. Поэтому тщательный подбор материалов для высокоскоростных печатных плат позволяет улучшить характеристики целостности сигнала.

Скотт Торнтон  
(Scott Thornton)

Перевод:  
Сергей Шихов  
sergey@aconf.ru

Что нужно учитывать при выборе печатной платы для приложения?

Используемые для печатной платы материалы критичны, если они применяются либо в особо прочной конструкции в суровых условиях, например в космосе, либо в печатной плате чрезвычайной гибкости для носимого электронного устройства. Высокочастотные сигналы и схемы особенно сложны в проектировании; поэтому выбор материала печатной платы важен при разработке высокоскоростных схем. К области применения высокопроизводительных печатных плат относятся маршрутизаторы, серверы, усилители мощности, модули приемопередатчиков, а также все высокоскоростные каналы передачи данных (например, PCIe 4.0 и выше).

Качество сигналов в схеме на печатной плате в значительной степени зависит от того, как была сконструирована сама плата, а не только от того, как была спроектирована схема. Существует ряд других параметров ПП, влияющих на работу и производительность схемы. Например, уровень шероховатости медных проводников на плате, диэлектрическая проницаемость, уровень устойчивости материалов к определенным условиям (влажность, скин-эффект), способность печатной платы выдерживать физические нагрузки, количество слоев на печатной плате, которые влияют на ее размер и стоимость. К другим факторам, касающимся печатных плат, можно отнести простоту производства, форм-фактор и требования к системной интеграции.

Материалы: от жестких к гибким и промежуточным

Со временем технологии печатных плат не только улучшились, но и открыли новые области применения. Ранние прототипы, которые используются для тестирования создаваемой схемы, находятся на ступень выше макетной схемы. Создаваемая схема может быть смоделирована, но ее моделирование никогда не бывает таким подробным, как реальная схема, поскольку в процессе задействованы многие возможные параметры. Моделирование и имитация схем хороши лишь настолько, насколько точно заданы параметры, запрограммированные в каждой составляющей части модели. После моделирования работы схемы она может быть выполнена на макетной плате или в качестве прототипа на дешевой жесткой ПП. Материалы печатной платы для прототипа можно выбрать подешевле, поскольку при проектировании схемы необходимо устранить ошибки, а тесты, в худшем случае, выявят проблемы с производительностью.

Улучшение материалов печатных плат повысит их производительность. Поэтому далее создается и тестируется прототип с использованием улучшенных материалов для предполагаемого приложения. Например, печатная плата, которая будет запущена в космос, должна быть прочной, защищенной от радиации и изготовленной из материалов, способных уменьшить потенциальные проблемы. Другое применение, такое как носимое беспроводное

устройство связи для контроля температуры, должно иметь очень гибкую печатную плату из совершенно иных материалов. Например, Blue Spark TempTraq (рис. 1) — это носимый термометр, который регулярно передает температуру на смартфон. Согласно Blue Spark, «печатная электроника» — термин, используемый для относительно новой технологии, которая определяет печать электронных схем и компонентов на обычных носителях, таких как бумага, пластик и текстиль, с использованием стандартных графических процессов печати и печатного оборудования. Так, вместо стандартных чернил для печати активных устройств, в частности тонкопленочных транзисторов и тонких печатных аккумуляторов, применяются недавно разработанные электронные чернила. Хотя концепция печатной электроники существует уже некоторое время, последние достижения в области химии проводящих чернил и гибких подложек обещают открыть множество новых рынков и сфер применения» [1].

Приложение влияет на тип необходимой печатной платы. Так, для платы микроконтроллера (МК), которая используется для обучения и/или разработки, подходит жесткая ПП, поскольку такие платы часто подвергаются механическим нагрузкам и вибрациям при подключении или отключении разъемов и соединительных проводов. Жесткая печатная плата может выдерживать множество соединений подключения/отключения, в то время как гибкая печатная плата имеет другие преимущества, например при использовании в термометре TempTraq или других одноразовых или носимых устройствах.

Носимые биосенсоры могут быть разработаны на очень гибких печатных платах, чтобы схема могла выдерживать как сгибание, так и механическое воздействие при ношении на теле [2]. Надежность, высокая производительность и срок службы электронного изделия зависят от используемой печатной платы.

В других применениях размер и стоимость продукта имеют не столь большое значение. Важно, является ли продукт надежным и насколько дружелюбный пользовательский интерфейс он предлагает. Потребительские свойства заметно улучшаются, если изделие достаточно прочное и выдерживает случайные падения или вибрации. Например, пульт дистанционного управления телевизором часто роняют, но оптимальный материал печатной платы, предусмотренный для такого применения, выдерживает подобные нагрузки. Это касается и других цифровых электронных изделий, таких как микроволновые печи и банкоматы, которые часто эксплуатируются многочисленными пользователями. Тем не менее столь прочные устройства эффективно функционируют в течение длительного срока. Кнопки могут выйти из строя лишь после миллионов нажатий. Печатная плата может выйти из строя из-за нерасчетных температур. В целом, тщательный выбор материалов печатной платы может предотвратить дефекты, а значит, изделие будет более надежным [3].



**Рис. 1.** Носимый TempTraq — гибкий патч с печатной схемой, который обеспечивает непрерывную беспроводную передачу показаний температуры через Bluetooth для смартфонов в пределах досягаемости с использованием технологии мягкого гибкого аккумулятора. TempTraq прошел сертификацию FDA в США и получил одобрение знака CE для Европы

### Сколько слоев у вашей печатной платы?

#### Односторонняя печатная плата

Односторонние печатные платы печатаются с проводящим слоем только с одной стороны. Они являются самым распространенным видом печатных плат и используются с 1950-х годов. Односторонние печатные платы все еще находят применение как в коммерческих, так и в академических проектах, поскольку они просты в использовании и дешевы. Такие платы часто можно увидеть в источниках питания, светодиодном освещении, торговых автоматах и промышленных реле [4].

#### Двусторонняя печатная плата

Двусторонние печатные платы предлагают более совершенную платформу для разработки схем. Как верхний, так и нижний слой используется для маршрутизации сигналов, что сокращает общий размер платы. Уменьшение размера платы может снизить стоимость продукта, особенно если для печатной платы требуется корпус. Слои печатной платы соединяются с помощью переходных отверстий (рис. 2), которые электрическим образом связывают узел на верхней стороне (например, площадку) с нижней стороной печатной платы.

Двусторонние печатные платы считаются наиболее популярным типом печатных плат. Примерами некоторых основных применений с двусторонними печатными платами являются преобразователи, промышленные системы

управления, системы управления дорожным движением и промышленные реле [5].

#### Многослойные печатные платы

Многослойные печатные платы содержат три или более наборов проводящих и диэлектрических слоев. Проводящие слои печатной платы разделены диэлектрическим слоем. Слои могут быть соединены между собой переходными отверстиями. Многослойные печатные платы могут содержать значительную сеть трассы в пределах ограниченной области, что уменьшает как стоимость, так и общий размер конечного продукта. Многослойные печатные платы используются в компьютерах, технологиях GPS, атомных ускорителях, оптоволоконных приемниках, оборудовании космических зондов и многих других продуктах [6].

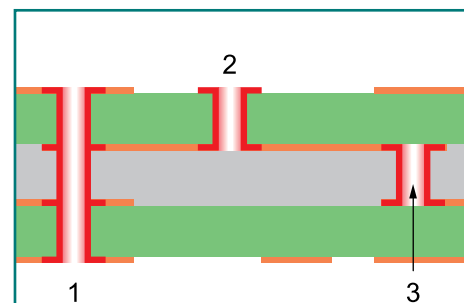
### Различные типы печатных плат и их применение

#### Алюминиевые печатные платы

Сердцевинный слой такой ПП состоит из алюминия, что обеспечивает высокий уровень рассеивания тепла печатной платой. Общая производительность и долговечность изделий повышаются по мере эффективного охлаждения схемы. Алюминиевые печатные платы являются экологически чистыми, поскольку алюминий пригоден для вторичной переработки. Они также имеют значительную механическую прочность, с учетом общего веса. Алюминиевая печатная плата обладает преимуществами как для высокомоощных, так и для термочувствительных схем [7].

#### Гибкие печатные платы

Эти печатные платы можно до некоторой степени складывать или сгибать. Как правило, они изготовлены из полимеров, таких как полиимид, который придает печатной плате эластичные свойства [8]. Гибкие печатные платы устанавливаются в электрические цепи, где они эффективно справляются с механическими проблемами. Они широко используются в медицинских, военных и промышленных целях [9].



**Рис. 2.** Различные типы переходных отверстий:

- 1) через отверстие;
- 2) глухое переходное отверстие;
- 3) заглубленное переходное отверстие.

Серый и зеленый слои являются непроводящими, в то время как тонкие оранжевые слои и переходные отверстия — проводящими (изображение:

М. Адлер — собственная работа, CC BY 3.0)

### Жесткие печатные платы

Жесткие печатные платы — наиболее распространенный тип применяемых печатных плат. Они дешевле, чем другие типы печатных плат. Форма жестких печатных плат, в отличие от гибких, не может быть изменена. Типичный пример жесткой печатной платы — материнская плата компьютера [10].

### Гибко-жесткие печатные платы

Гибко-жесткие печатные платы представляют собой комбинацию жестких и гибких плат. Это сочетание позволяет разрабатывать механически сложные конструкции. Гибко-жесткие печатные платы могут заменить более старую, традиционную комбинацию жестких печатных плат, разъемов и кабелей. По мере уменьшения числа механических соединений повышается общая эффективность электрических контактов, а гибкая часть защищает цепь от механических воздействий [11].

Гибко-жесткие печатные платы используются в военных, аэрокосмических, медицинских, телекоммуникационных, автомобильных и промышленных изделиях [12].

Это был краткий обзор доступных вариантов печатных плат.

Теперь поговорим о том, какой тип материалов печатных плат следует выбирать для улучшения целостности сигнала.

### Свойства материалов печатных плат

Электрические свойства материала печатной платы напрямую влияют на общую производительность и надежность. Приведем некоторые свойства материала печатной платы, которые необходимо учитывать:

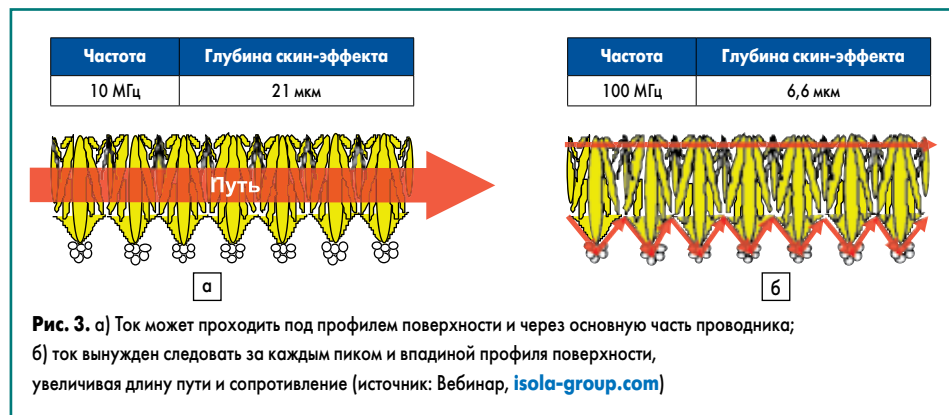
- Диэлектрическая проницаемость ( $D_k$ ) материала печатной платы влияет на сопротивление цепей. Печатная плата с низкой и стабильной диэлектрической проницаемостью, даже при изменении частоты и температуры, подходит для высокочастотной схемы [13]. В противном случае, если печатная плата сделана из материала с низкой  $D_k$ , сопротивление линии передачи или трассы на печатной плате будет изменяться непредсказуемым образом.
- Электромагнитные волны создаются колеблющимися электрическими и магнитными полями. Эти волны могут поглощаться диэлектрическим слоем печатной платы во время передачи сигнала, что приводит к его ослаблению (это мера потери мощности сигнала при передаче).
- Мера ослабления сигнала по отношению к поданному сигналу называется коэффициентом рассеивания ( $D_f$ ).  $D_f$  материала печатной платы является полезным параметром для исследования, когда речь идет о целостности сигнала ( $S_i$ ). Сохранение  $S_i$  — вопрос борьбы с причинами искажения сигнала, потери сигнала, перекрестных помех, звона и шума, вызванных источником питания. Уровень сигнала представляется серьезной проблемой для высокочастотных сигналов и чувствительных цепей. Во многих применениях со слабыми электромагнитными сигналами, коэффициент рассеивания игра-

ет жизненно важную роль для сохранения уровня сигнала [14].

- Шероховатость медной трассы на печатной плате также может увеличить сопротивление сигналу или сопротивление в цепи. Это происходит поскольку рельеф поверхности меди усиливает или ослабляет сигнал. Скачки амплитуды сигнала на поверхности также могут увеличивать емкость. Гладкая медь стоит дороже, но это оправдано необходимостью сохранять целостность сигнала на радиочастотах [15].
- Печатные платы могут иметь сердцевинный слой из стекловолокна и эпоксидной смолы. Диэлектрическая проницаемость различается для разных сердцевинных слоев и поэтому неоднородна. Для улучшения однородности диэлектриков в материалах для сердечника печатной платы можно применять плотно сплетенное стекловолокно. Для контроля сопротивления и целостности сигнала высокоскоростных сигнальных слоев необходимо использовать предварительно пропитанный стекловолоконный материал, уложенный между слоями [16]. Компания Isola — мировой лидер в области материаловедения, который проектирует, разрабатывает, производит и продает покрытые медью ламинаты и диэлектрические препреги, используемые для изготовления современных многослойных печатных плат [17]. Опыт Isola включает экспертные знания о том, как смягчить влияние неоднородности переплетения волокон на сердцевинные слои печатных плат. Isola рекомендует использовать более однородное стекловолокно (рис. 3). Равномерные

переплетения стекловолокна приведут к более равномерному распределению стекла по всей поверхности, что уменьшит сопротивление трасс. Вы можете использовать максимально широкую трассу в своем макете, проложить трассу под углом к основанию и заполнению волокна или зигзагообразно относительно волокна (рис. 4). Также можно выбрать материалы, которые имеют значения диэлектрической проницаемости смолы и волокна, наиболее близкие друг к другу. Высокочастотные сигналы ( $>100$  МГц) наиболее подвержены влиянию неоднородных диэлектрических эффектов, вызванных переплетением волокон печатных плат. Тканевое переплетение, как неоднородный диэлектрик, оказывает гораздо меньшее влияние на трассу, которая передает сигнал на более низкой частоте.

- Обратите внимание, что диэлектрик тканевого переплетения печатной платы может впитывать влагу, в том числе из окружающей среды. Поглощение влаги влияет на общую производительность печатной платы. Как правило, значение влагопоглощения диэлектрика печатной платы составляет 0,01–0,2% [18].
- Способность печатной платы выдерживать нагрузки называется прочностью на изгиб. Испытание печатной платы на изгиб может быть выполнено для определения способности ПП к сопротивлению такой нагрузке [19]. Это лишь общий обзор доступных вариантов печатных плат, трасс и переплетения ткани, которая зажата (ламинирована) между слоями печатной платы. Однако если необходимо улучшить целостность сигнала



**Рис. 4.** Можно смягчить диэлектрические эффекты, которые вызывает переплетение волокон печатной платы.

Переплетение 1080 (а) не такое однородное по конструкции, как переплетение 3113 (б).

Провод, показанный в верхней части каждого переплетения, является примером того, как следует наносить трассу на переплетения, что также улучшает однородность диэлектрика, создаваемого переплетением ткани

схемы, особенно для высокочастотных сигналов (более 100 МГц или 10 Гбит/с), вы можете изучить подробнее описанные здесь варианты. Следует учитывать, что в настоящей статье упомянуты не все варианты печатных плат, но это лишь начало.

### Литература

1. [www.bluesparktechnologies.com/index.php/industry-solutions/about-printed-electronics](http://www.bluesparktechnologies.com/index.php/industry-solutions/about-printed-electronics)
2. [www.molex.com/molex/products/family?key=medical\\_wearables&channel=products&pageTitle=Introduction](http://www.molex.com/molex/products/family?key=medical_wearables&channel=products&pageTitle=Introduction)
3. [www.pcbcart.com/pcb-capability/pcb-materials.html](http://www.pcbcart.com/pcb-capability/pcb-materials.html)
4. [www.amitroncorp.com/printed-circuit-boards/single-sided.html](http://www.amitroncorp.com/printed-circuit-boards/single-sided.html)
5. [www.amitroncorp.com/printed-circuit-boards/double-sided.html](http://www.amitroncorp.com/printed-circuit-boards/double-sided.html)
6. [www.amitroncorp.com/printed-circuit-boards/multilayer.html](http://www.amitroncorp.com/printed-circuit-boards/multilayer.html)
7. [www.pcbway.com/pcb\\_prototype/General\\_introduction\\_of\\_Aluminum\\_PCB.html](http://www.pcbway.com/pcb_prototype/General_introduction_of_Aluminum_PCB.html)
8. [www.pcbuniverse.com/pcbu-flex-pcb.php](http://www.pcbuniverse.com/pcbu-flex-pcb.php)
9. [pfcflex.com/applications/](http://pfcflex.com/applications/)
10. [www.theengineeringprojects.com/2018/04/rigid-pcb.html](http://www.theengineeringprojects.com/2018/04/rigid-pcb.html)
11. [www.cicor.com/products-services/printed-circuit-boards/rigid-flexible/](http://www.cicor.com/products-services/printed-circuit-boards/rigid-flexible/)
12. [www.rigiflex.com/faq/rigid-flex-pcbs-applications](http://www.rigiflex.com/faq/rigid-flex-pcbs-applications)
13. [www.microwavejournal.com/blogs/1-rog-blog/post/23743-selecting-pcb-materials-for-high-speed-digital-circuits](http://www.microwavejournal.com/blogs/1-rog-blog/post/23743-selecting-pcb-materials-for-high-speed-digital-circuits)
14. [www.intel.com/content/www/us/en/programmable/documentation/nik1412632494319/nik1412632443320/nik1412632443951.html](http://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/documentation/nik1412632494319/nik1412632443320/nik1412632443951.html)
15. [www.microwavejournal.com/ext/resources/Webinars/2014/SLIDES\\_Isola\\_26feb14.pdf](http://www.microwavejournal.com/ext/resources/Webinars/2014/SLIDES_Isola_26feb14.pdf)
16. [www.intel.com/content/www/us/en/programmable/documentation/nik1412632494319/nik1412632443320/nik1412632443951.html](http://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/documentation/nik1412632494319/nik1412632443320/nik1412632443951.html)
17. [www.isola-group.com/about-us/](http://www.isola-group.com/about-us/)
18. [www.mclpcb.com/pcb-material-selection-guide/](http://www.mclpcb.com/pcb-material-selection-guide/)
19. [www.testresources.net/applications/electronic-printed-circuit-board-pcb-flexural-bend-test/](http://www.testresources.net/applications/electronic-printed-circuit-board-pcb-flexural-bend-test/)



**Сергей ШИХОВ,**  
директор по управлению проектами «А-КОНТРАКТ»:

Информация, представленная в статье, возможно, и не будет откровением для опытных специалистов. Однако в своей работе мы достаточно часто сталкиваемся с тем, что разработчики не придают особого значения выбору типа материала печатных плат и, более того, не принимают во внимание ограничения, связанные с технологическими процессами изготовления плат и сборки (особенно серийной) электронных блоков. Пренебрежение данными факторами может привести как к увеличению стоимости и сроков производства, так и к проблемам с качеством изделий вплоть до невозможности изготовления платы и/или электронного блока.