

ГИБКИЕ И ГИБКО-ЖЕСТКИЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ. КОММЕНТАРИИ К СТАНДАРТУ IPC-2223A ЧАСТЬ 1

Александр Акулин, технический директор, компания PCB technology

В статье приведены основные положения зарубежного стандарта IPC-2223A, определяющего критерии проектирования, изготовления и контроля гибких и гибко-жестких печатных плат. Автор приводит комментарии к стандарту и дает рекомендации отечественным разработчикам аппаратуры по вопросам проектирования и применения гибких печатных плат.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наша компания получает все больше заказов на изготовление гибких и гибко-жестких печатных плат. Но приходящие от заказчиков проекты, к сожалению, изобилуют ошибками и недоработками. Связано это, по всей видимости, с отсутствием отечественной литературы, описывающей технологию изготовления и особенности разработки подобных плат. Кроме того, сказывается отсутствие современного ГОСТа, определяющего критерии их проектирования, изготовления и контроля.

Настоящая статья написана с целью восполнить этот пробел. В статье приведены краткие комментарии к зарубежному стандарту IPC-2223A (далее IPC), посвященному этой теме, а также проиллюстрированы требования стандарта на примере реальных проектов, выполненных компанией PCB technology для российских заказчиков. Выдержки из IPC приведены другим цветом. Желающие получить полный текст и перевод этого стандарта могут обратиться в нашу компанию по адресу: pcb@pcbttech.ru.

ПРЕИМУЩЕСТВА ГИБКИХ ПЛАТ

Благодаря использованию тонких пленок гибкие печатные платы позволяют экономить вес и объем и дают

ключ к созданию трехмерных конфигураций. Печатные схемы в гибкой плате могут быть развернуты на произвольный угол, обеспечивая возможность использования нескольких разъемов в заранее заданной ориентации, а также возможность сгибания для изменения ориентации.

Существуют несколько видов гибких диэлектриков (полиимид, полиэстер, лавсан и др.), некоторые из них обеспечивают температурную стабильность, тогда как другие позволяют снизить стоимость.

Температурная стабильность полиимидных гибких печатных плат позволяет использовать сквозные металлизированные отверстия и планарные площадки для монтажа компонентов. Полиэстерные печатные платы менее дорогостоящи, но возможность монтажа компонентов на них ограничена. Типично использование таких плат с низкотемпературной пайкой.

Гибкость печатных плат позволяет перемещать их составные части независимо, облегчая установку плат в изделие и упрощая их обслуживание в процессе эксплуатации. Можно комбинировать использование технологий изготовления гибких и жестких плат для достижения более плотной установки в ограниченном пространстве путем упрощения системы межплатных соединений.

КОНСТРУКЦИИ ГИБКИХ И ГИБКО-ЖЕСТКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Гибкие печатные платы представляют собой наборы соединительных кабелей, которые могут содержать однослойные, двухслойные и многослойные структуры. Платы могут быть как полностью гибкими, так и представлять собой комбинацию жестких и гибких частей. IPC классифицирует их по типу конструкции следующим образом.

ТИПЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Тип 1. Односторонняя гибкая печатная плата, содержащая один проводящий слой, с упрочнениями или без них (см. рис. 1).

Тип 2. Двусторонняя гибкая печатная плата, содержащая два проводящих слоя и сквозные металлизированные отверстия, с упрочнениями или без них (см. рис. 2).

Тип 3. Многослойная гибкая печатная плата, содержащая три и более проводящих слоя со сквозными металлизированными отверстиями, с упрочнениями или без них (см. рис. 3).

Тип 4. Комбинация многослойных гибких и жестких элементов, содержащих три и более проводящих слоя со сквозными металлизированными отверстиями (см. рис. 4).

Тип 5. Гибкая или гибко-жесткая печатная плата, содержащая два или более проводящих слоя без сквозных металлизированных отверстий (см. рис. 5).

Гибкие печатные платы уникальны в каждом приложении и, тем не менее, в IPC приведены некоторые типовые классы использования. Рекомендуется

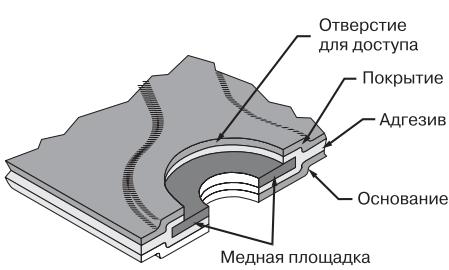


Рис. 1. Плата, тип 1

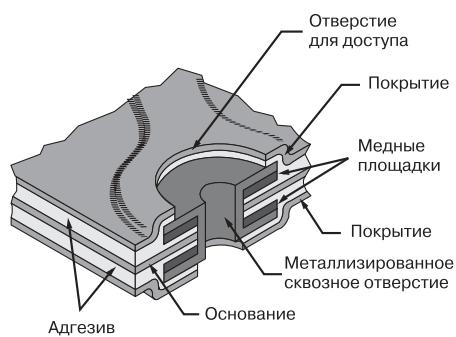


Рис. 2. Плата, тип 2

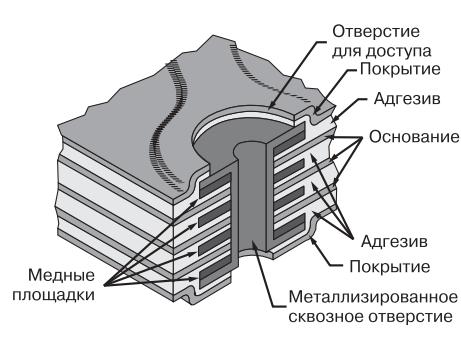


Рис. 3. Плата, тип 3

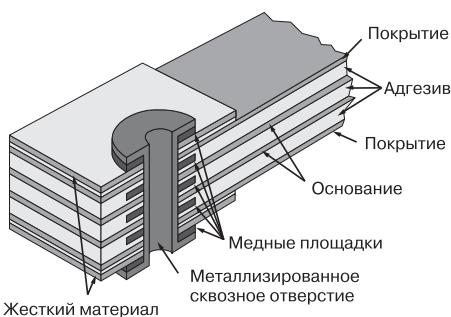


Рис. 4. Плата, тип 4

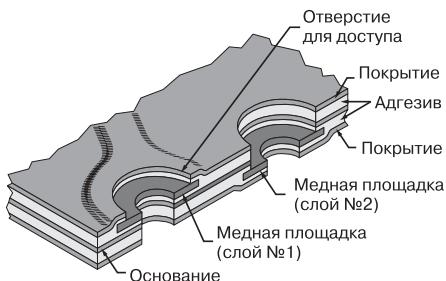
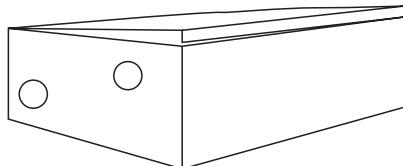


Рис. 5. Плата, тип 5

Подготовка модели корпуса прибора



Определение местоположения разъемов

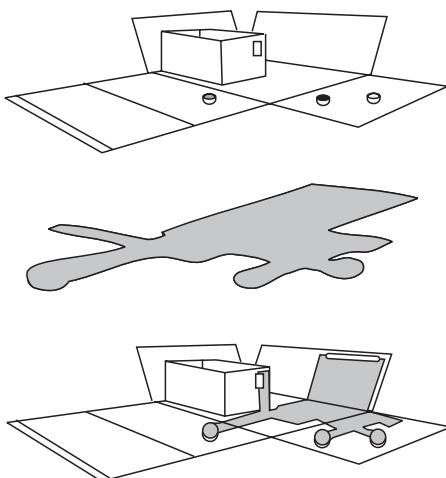


Рис. 6. Трехмерное моделирование гибких и жестких частей платы



Рис. 7. Финальное расположение гибкой платы на мультизаготовке

указывать тип использования в конструкторской документации (КД) для изготовления.

Категория А. Гибкие при установке.

Категория В. Гибкие при постоянном использовании для заданного в конструкторской документации количества циклов перегиба (динамически гибкая).

Категория С. Платы для высокотемпературных применений (более 105°C).

Категория Д. Платы, подпадающие под сертификацию UL, т.е. имеющие повышенную огнеустойчивость, сопоставимую с огнеустойчивостью жестких плат.

С ЧЕГО НАЧИНАТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПЛАТ

Начиная с первых этапов проекта, надо находиться в тесном контакте с изготовителем для оптимизации конструкции изделия и пригодности проекта к производству. Необходимо уточнить у производителя печатных плат наличие или доступность конструкционных материалов, планируемых к использованию в проекте, и их технологическую совместимость при изготовлении изделия. Важное значение имеет определение возможности мультилиплицирования плат и выбор оптимального размера заготовки, т.к. от этого зависит расход конструкционных и технологических материалов, а следовательно, и стоимость изделия.

Перед началом проектирования рекомендуется произвести макетирование изделия: вырезать из пленки макет будущей гибкой или гибко-жесткой структуры и отработать его трехмерное размещение в блоке, где будет работать изделие, а также его мультилиплицированное размещение на заготовке, размер которой определяется возможностями технологического оборудования.

В стандарте процесс начала проектирования описан следующим образом.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТА

Проектирование должно включать в себя полноразмерное трехмерное моделирование проекта, чтобы обеспечить корректную размерность и расположение гибких и жестких частей (см. рис. 6).

Так как гибкие проекты могут иметь весьма причудливую форму, рекомендуется, чтобы конструктор предусмотрел возможность использования перегибов гибкой платы вдвое (фальцовки) для достижения эффективной панелизации (см. рис. 7).

ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ РЕЗУЛЬТАТОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Требования к документации на гибкие и гибко-жесткие платы во многом похожи на требования к КД на многослойные печатные платы. Но имеется ряд важных дополнений. Рассмотрим их.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В конструкторскую документацию необходимо включать изображения отдельных видов, показывающих гибкую конфигурацию, смонтированную в готовое изделие. Это делается для того, чтобы показать изготовителю критические области — места сгиба или перегиба вдвое.

Чертежи должны содержать подробный перечень и описание материалов, использованных в гибкой конструкции (т.е. структуру слоев, армированные или укрепленные области, области с критической толщиной). Рекомендуется использовать вид поперечного разреза. Для областей с критической толщиной следует указывать минимально и максимально допустимые значения толщины.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Гибкие и гибко-жесткие платы — сложные дорогостоящие изделия. При проектировании следует рассматривать любые возможности для оптимизации и упрощения конструкций.

Так как основное функциональное назначение гибких плат — соединение нескольких узлов, следует внимательно отнести к возможности оптимизации системы межсоединений. Расположение выводов должно быть тщательно продумано в самом начале проектирования, чтобы предотвратить сложные и дорогостоящие пересечения в гибких соединениях. Оптимизация расположения выводов может уменьшить количество слоев и тем самым снизить стоимость изделия.

ИЗ ПРАКТИКИ PCB TECHNOLOGY

Не так давно к нам обратился заказчик с просьбой изготовить гибко-жесткие платы, имеющие 4 слоя в жесткой части и 2 в гибкой. Тщательное рассмотрение дизайна показало, что всю разводку проводников можно уместить в двух гибких слоях, а жесткие части выполнить с помощью элементов ужесточения, с вырезами под контактные площадки. Таким образом, оптимизация проекта

позволила сэкономить более 50% стоимости заказа.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИИ

Одна и та же по функции гибкая плата может быть выполнена различными способами. Следует тщательно изучить предполагаемые условия эксплуатации для того, чтобы совместно с производителем найти оптимальные материалы и выбрать оптимальную конструкцию.

Выбор оптимального сочетания материалов и конструкции крайне важен при проектировании гибкой печатной платы. Следует осторожно подходить к этому процессу, чтобы быть уверенными в совместимости смежных материалов. Все материалы должны быть специфицированы в конструкторской документации. Для пояснения имеет смысл давать виды в разрезе с указанием типов материалов. Примеры показаны на рисунках 8 и 9.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы, подходящие для выполнения проекта, могут иметь достаточно разные типовые свойства. Весьма важно изучить различные варианты, чтобы выбрать тот, который наилучшим образом соответствует требованиям проекта. Факторы, которые следует принять во внимание при проектировании:

- поглощение влаги;
- огнеустойчивость;
- электрические свойства;
- механические свойства;
- температурные свойства.

Разработчик и изготовитель должны совместно проверить выбор материалов с точки зрения стоимости, эксплуатационных качеств и пригодности к производству.

ПРЕПРЕГ

Препрэг — это связующий материал на основе смолы. Он используется для связи ламинированных слоев и образования жесткой многослойной платы. После спекания препрэг образует структуру, аналогичную стеклотекстолиту типа FR-4.

В гибко-жестких печатных пластинах препрэги используются в качестве связующего для изготовления жесткой части. Обычно используются связующие двух типов: «нетекучий» (no-flow) и «слаботекучий» (low-flow). Входящие в состав препрэгов материалы с более высокой температурой стекловидности (High Tg) обеспечивают более высокую рабочую температуру и низкий коэффициент

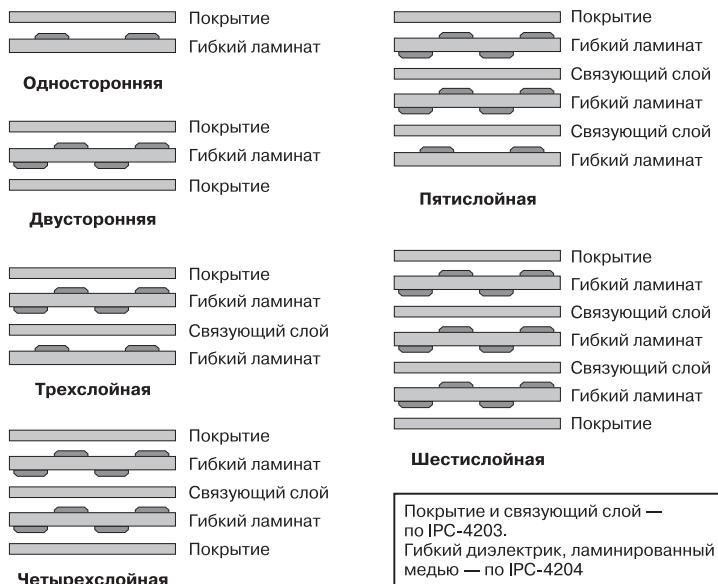
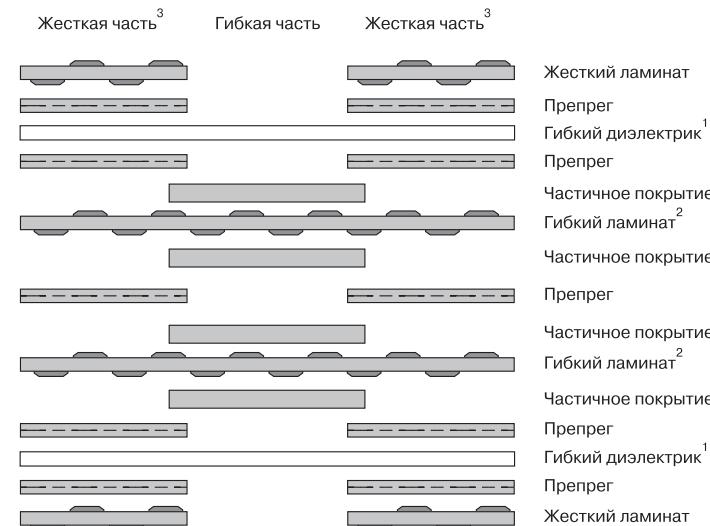


Рис. 8. Примеры конструкций гибких плат (поперечное сечение)



1. Материал для выполнения защитного «кокона» (см. вторую часть статьи), нужен не для всех гибко-жестких конструкций

2. Для увеличения гибкости и уменьшения проблем с металлизированными отверстиями, в жесткой части должны применяться безадгезивные материалы

3. Жесткая часть должна частично перекрываться с покрытием гибкой части.

Рис. 9. Пример конструкции гибко-жестких плат (поперечное сечение)

расширения по оси Z. Эти свойства препрэгов обеспечивают надежность сквозных металлизированных отверстий даже когда число слоев многослойной платы превышает 8. Недостатком применения препрэгов является ухудшение диэлектрических свойств и снижение гибкости плат.

МЯГКИЕ АДГЕЗИВЫ

Место перехода между гибкой и жесткой частью платы является точкой наиболее вероятного излома. Для укрепления этого места применяют специальные утолщения гибкой части («наплывы» или «валики»), выполненные мягким текучим клейким материалом. Для этих целей используются такие материалы, как

гибкие эпоксидные адгезивы, акриловые адгезивы, силикон (RTV) или полисульфид. Однако для некоторых приложений необходимо принимать во внимание следующее: эти материалы могут являться потенциальным источником выделения газов.

АДГЕЗИВНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ПЛЕНКИ

Для склеивания нескольких гибких слоев и для подклейки укрепляющих прокладок используются гибкие клейкие пленки. Эти связующие пленки могут быть выполнены из низкотемпературных смол, используемых для улучшения адгезии и гибкости. Однако в гибко-жестких проектах использование этих материалов в жест-

кой части должно быть минимизировано или исключено для устранения проблемы чрезмерного расширения по оси Z. В противном случае надежность металлизированных отверстий будет существенно ниже. Поэтому для изготовителя весьма важно, чтобы в КД были четко обозначены как области, требующие наличия адгезива, так и области, которые должны быть свободны от адгезива.

ЛАМИНИРОВАННЫЕ ПРОВОДЯЩИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ

Для создания проводников на гибкой плате применяют медную фольгу, предварительно скрепленную с гибкой диэлектрической пленкой клейкими смолами, или медную пленку, нанесенную на гибкую диэлектрическую пленку методом напыления чистой меди в специальных вакуумных камерах. Возможен и обратный процесс — диэлектрик может быть нанесен на металлическую фольгу. Гибкая диэлектрическая пленка, скрепленная с металлической пленкой или фольгой тем или иным способом, называется ламинатом.

Ламинаты, у которых между проводящей и диэлектрической пленками отсутствуют клейкие смолы, называют безадгезивными. Традиционные же ламинаты сконструированы с использованием адгезивных смол или специального адгезионного подслоя, нанесенно-

го на гибкую диэлектрическую пленку. Заметим, что температура полимеризации у адгезивных смол обычно ниже, чем у материала диэлектрической пленки. В многослойных гибко-жестких проектах в настоящее время применяют безадгезивные ламинаты с целью исключения влияния низкотемпературных адгезивов на рабочую температуру печатных плат (см. табл. 1).

ЖЕСТКИЕ ФОЛЬГИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Диэлектрики, применяемые для изготовления жесткой части, представляют собой такой же фольгированный стеклотекстолит, как для обычных жестких плат. Это сочетание медной фольги, адгезивных смол, а также тканой или нетканой арматуры или жесткого стеклотекстолита.

ЗАЩИТНЫЙ СЛОЙ

Защитный слой — это гибкое диэлектрическое покрытие, нанесенное на гибкую печатную плату после создания на ней рисунка всех проводников и контактных площадок. Защитный слой используется для того, чтобы защищать (изолировать) проводники на поверхности гибкой печатной платы от агрессивного воздействия окружающей атмосферы и всевозможных коротких замыканий проводников между собой и с другими окружающими металлическими конструкциями. Защитный

слой изготавливается из материала, который может сгибаться или может принять форму, требуемую в конечном использовании. Существуют два типа защитных покрытий: пленочные и масочные.

Сплошная защитная пленка состоит из адгезива и диэлектрической пленки, последовательно нанесенных на гибкую печатную плату. Для динамических приложений важно соблюдать баланс механических свойств между проводящими слоями и защитной пленкой.

Защитная маска — это диэлектрическое покрытие, которое наносится на участки гибкой платы ламинированием сухой пленки, шелкографией, напылением или поливом. В качестве покрытия может использоваться и фоточувствительный материал, обеспечивающий более точное выполнение защитного рисунка. Выбор типа покрытия для гибких приложений — крайне ответственный процесс.

На поверхность защитного слоя, а также на диэлектрическое основание гибкой печатной платы, для экранирования проводников могут быть нанесены проводящие краски, такие как серебро-, медь- или углерод-содержащие полимеры.

ПОКРЫТИЕ ПЛОЩАДОК

Если не задано иное, применяется покрытие олово-свинцом с оплавлением.

Таблица 1. Характеристики типовых гибких диэлектриков

| | Полиэстер (с адгезивом) | Полиимид (с адгезивом) | Полиимид (безадгезивный) |
|--|-------------------------|--|--------------------------------------|
| Механические свойства | | | |
| Сгибание (R ~ 2,5 мм) | Нормально | Хорошо | Отлично |
| Термическое формование | Да | Нет | Нет |
| Модуль жесткости, МПа | 2800...5500 | 2500 | 4000 |
| Усилие разрыва, г | 800 | 500 | 500 |
| Усилие расслоения, Н/м | 1050 | 1750 | 1225 |
| Химические свойства | | | |
| Устойчивость к растворителям | Отлично | Плохо | Хорошо |
| Защита от ультрафиолета | Плохо | Хорошо | Отлично |
| Сертификация UL/максимальная рабочая температура, °C | 85...160 | | 105...200 |
| Огнеустойчивость | VTM-0 с адгезивом FR | | VTM-0 |
| Электрические свойства | | | |
| Диэлектрическая проницаемость (1 МГц) | 3,4 | 3,5 | 3,3 |
| Диэлектрическая прочность, кВ/25 мкм | 4...5 | 3...5 | 5 |
| Сопротивление изоляции, Ом·см | 10 ³ | | |
| Термические свойства | | | |
| Устойчивость к процессу пайки | 5 с при 246...260°C | 5 с при 288°C (предварительная сушка) | 10 с при 288°C (без предв. сушки) |
| Монтажные свойства | | | |
| Сквозные отверстия | Плохо | Отлично | Отлично |
| Поверхностный монтаж (инфракрасное оплавление) | PEN — да, PET — нет | Хорошо | Отлично |
| Сварка проволокой | Нет | Да для некоторых адгезивов | Отлично |
| Бескорпусная установка | Плохо | Хорошо | Отлично |

Другие типы применяемых покрытий: иммерсионное золото по никелю, иммерсионное олово, иммерсионное серебро, гальваническое золото по никелю.

Покрытие никелем на гибкой части применять не рекомендуется вследствие его хрупкости. Треугольники в защитном покрытии будут распространяться по поверхности контактных площадок и приводить к разрушению медных проводников.

МАРКИРОВКА И НАДПИСИ

Маркировку и необходимые надписи на гибких печатных платах не следует располагать в динамической области и в области контактных площадок гибкой платы. В случае много-кратных статических перегибов гибкой платы при установке в устройство, маркировку располагают таким образом, чтобы ее можно было прочитать без демонтажа гибкой платы

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Перед началом разработки серийного изделия следует уточнить у изготовителя, какие размеры мультизаготовок (гибкий диэлектрик с металлическим слоем, на котором расположено максимально возможное

количество модулей гибких печатных плат) возможно обрабатывать на технологическом оборудовании и каков размер рабочей области на заготовке.

Следует принимать во внимание следующие факторы:

- расстояние между элементами;
- наличие тестовых точек, позволяющих контролировать технологический процесс и сопротивление проводников;
- крепежные отверстия;
- реперные точки;
- расстояние между модулями;
- возможности мультилинирования;
- требования к наличию бордюра для металлизации отверстий.

Эффективность использования мультизаготовок становится важной при увеличении объема производства. Стоимость платы будет тем ниже, чем больше модулей удастся разместить на мультизаготовке и подвергнуть групповой обработке. Следует уточнить у изготовителя ширину и длину рулона, так как в зависимости от толщины материала и типа оборудования эти размеры могут существенно варьироваться.

Вторая часть статьи будет посвящена в основном вопросам конструирования гибких печатных плат.

рования гибких печатных плат:

- контур платы и минимальный радиус во внутренних углах контура платы;
- расстояние от отверстия до края платы, разрезы и вырезы;
- проектирование гибкой и жесткой части платы;
- надежность металлизированных отверстий;
- многослойная гибкая часть;
- особенности проектирования проводников в гибкой части;
- вычисление радиуса изгиба;
- изгиб многослойных склеенных гибких плат;
- экранирование проводников;
- элементы ужесточения и теплоотводы;
- особенности монтажа гибких плат;
- воздействие влаги;
- температурные воздействия;
- тенденции развития и использования гибких плат.

ЛИТЕРАТУРА

1. IPC-2223A. *Sectional Design Standard for Flexible Printed Boards.* www.ipc.org.
2. IPC-2223A, перевод на русский язык. *Разработка гибких печатных плат.* wwwpcbtech.ru.