

Особенности проектирования гибких и гибко-жестких печатных плат

Часть 1

УДК 621.382 | ВАК 05.13.12

П. Виклунд¹, Д. Вертянов², И. Беляков³, С. Евстафьев⁴

Тенденции к расширению применения гибких и гибко-жестких плат обуславливаются очевидными преимуществами, которые они предоставляют современным устройствам и приборам. Разработка сложных гибких и гибко-жестких плат накладывает ряд особых требований к функциональным возможностям САПР. В статье представлены особенности и проблемы, с которыми сталкиваются разработчики при проектировании гибких и гибко-жестких печатных плат, а также функциональные возможности сквозных маршрутов Mentor Graphics Xpedition и PADS Professional, в том числе анализ целостности сигналов.

Гибкие шлейфы для соединения жестких плат впервые появились в 1970-е годы, а сегодня изделия на гибких и гибко-жестких основаниях находят все большее применение в различных областях электронной техники. Малый вес в сочетании с высокой стойкостью к механическим воздействиям (изгибы и вибрации [1]), а также возможность придания платам сложной формы позволили гибкой электронике занять свою нишу в автомобильной промышленности, потребительской продукции (смартфоны, планшеты, фотокамеры, ноутбуки) и аэрокосмической отрасли [2]. А такие свойства, как малый тангенс диэлектрических потерь полиимида (как наиболее распространенного материала гибких частей) вместе с возможностью выбора необходимой толщины диэлектрика (от единиц до десятков и сотен микрон) определили потенциал гибких и гибко-жестких изделий в телекоммуникационной индустрии.

В настоящее время направление гибких, гибко-жестких и эластичных плат продолжает активно развиваться. Так, рынок гибких плат, по данным Energy Market Research, на 2016 год составлял 13,5 млрд долл., а прогнозируемый объем рынка на 2023 год, согласно отчету, составляет уже 27,6 млрд долл. [3]. Для гибко-жестких плат объем рынка на 2017 год равнялся 3,835 млрд долл. и, по оценкам Industry Arc, к 2024 году он вырастет до 7,531 млрд долл. [4]. Наибольшую долю среди потребителей гибких плат занимают

Североамериканский и Азиатско-Тихоокеанский регионы (рис. 1 [5]), при этом по области применения данных плат лидирует потребительская электроника (рис. 2 [3]). Значительный интерес к гибким и гибко-жестким платам проявляют в медицинской отрасли (которая, по данным Industry Arc, уже стала одним из лидеров по применению гибко-жестких плат в США), а также в отрасли носимой электроники и Интернета вещей. Кроме того, для изделий медицинской техники и носимой электроники достаточно новым и перспективным направлением является создание не просто гибких, а гибко-эластичных, а также жестко-эластичных изделий [6, 7].

Однако в процессе проектирования гибких и гибко-жестких печатных плат, не говоря уже об эластичной электронике, разработчики сталкиваются с множеством проблем, каждая из которых может стать причиной дорогостоящих отказов или послужить причиной провала всего проекта. Чтобы справиться с этими проблемами

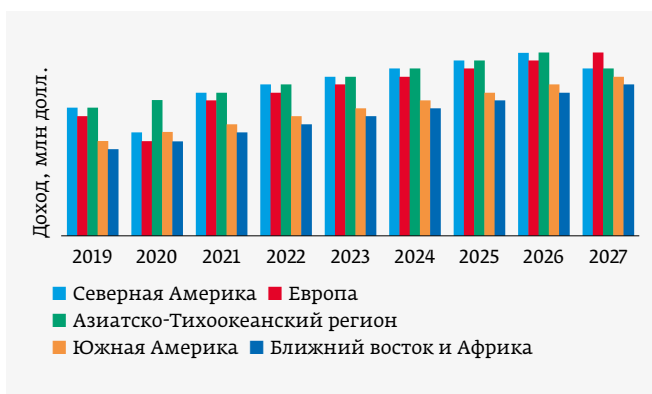


Рис. 1. Объем рынка гибких плат по регионам [1]

¹ Mentor, A Siemens Business, директор системных решений, ru_soft@mentor.com.

² Институт НМСТ НИУ МИЭТ, руководитель УНЦ, vdv.vertyanov@gmail.com.

³ Институт НМСТ НИУ МИЭТ, аспирант, igor-terra@yandex.ru.

⁴ Институт НМСТ НИУ МИЭТ, к. т. н., доцент, madcatse@gmail.com.

и довести проект до успешного завершения, разработчики зачастую вынуждены полагаться исключительно на свои профессиональные навыки и опыт, так как традиционные средства проектирования мало помогают в предотвращении ошибок, связанных с гибким или гибко-жестким исполнением изделия. Но по мере того как конструкции гибких и гибко-жестких плат усложняются, для средств проектирования становится все более важным учет всех особенностей, связанных с правилами проектирования и конструкторскими решениями, имеющими место для изделий в гибком исполнении [8].

Сквозные маршруты САПР Mentor Graphics Xpedition и PADS Professional предоставляют разработчику все необходимые инструменты для успешного проектирования гибких и гибко-жестких плат, в том числе анализ целостности сигналов.

ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИБКИХ И ГИБКО-ЖЕСТКИХ ПЛАТ

Разработчики плат в гибком и гибко-жестком исполнении сталкиваются с широким перечнем уникальных проблем, которые, если их должным образом не решить, могут привести к отказам, постоянным возвратам к процессу проектирования, а также к долгосрочным проблемам с надежностью изделий. Ниже приведены некоторые из проблем, специфичных для гибких и гибко-жестких плат:

- наличие множества контуров плат, каждому из которых соответствует отдельный набор (стек) слоев (рис. 3);
- особая структура стека слоев, характерная для гибких и гибко-жестких плат;
- наличие специальных типов слоев, таких как слои адгезива, покровные слои и слой элементов жесткости (упрочнителей);
- возможность настройки параметров изгиба гибкого или гибко-жесткого печатного узла;
- возможность 3D-отображения гибкого или гибко-жесткого печатного узла в сложенном/согнутом виде;
- необходимость в прокладке трасс вдоль контуров платы сложной формы таким образом, чтобы обеспечивалось минимальное механическое напряжение в проводниках гибкой части;
- металлизированные слои и полигоны должны соответствовать требованиям для гибких плат;

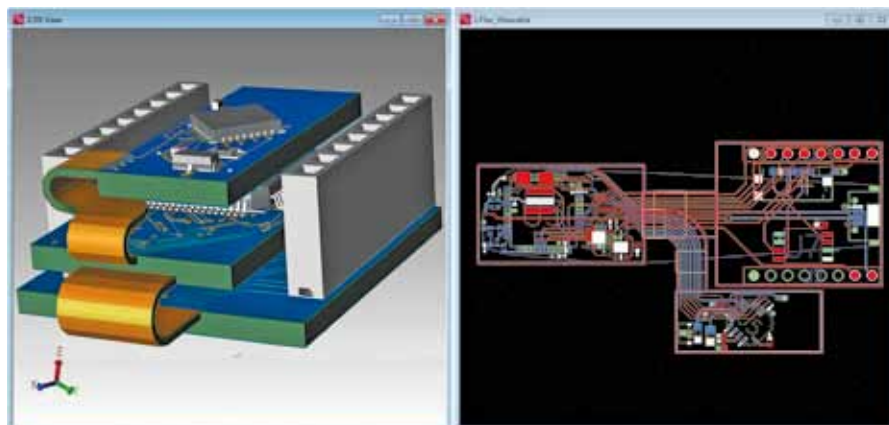


Рис. 3. Проект гибко-жесткой платы, включающей несколько гибких частей, расположенных друг над другом и требующих как особой структуры слоев, так и особых правил трассировки

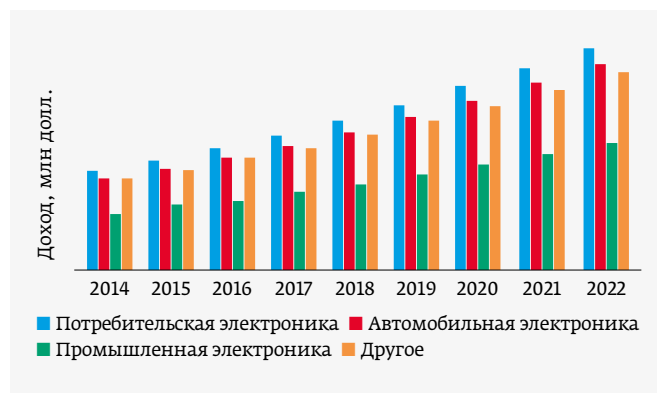


Рис. 2. Рынок гибких плат по областям применения [2]

- проверка правил проектирования должна учитывать особенности конструкции платы;
- при анализе целостности сигналов и питания необходимо учитывать различия структуры слоев в гибких и жестких частях платы;
- при выгрузке данных для производства необходимо, чтобы полученные файлы обеспечивали точную передачу всех особенностей конструкции платы.

Все указанные особенности должны быть учтены при создании проекта платы, чтобы после передачи данных проекта на производство получить в результате работоспособные изделия.

Традиционно разработчики преодолевают указанные проблемы проектирования гибких и гибко-жестких плат с помощью личного опыта, используя «обходные пути» с целью реализации требуемой конструкции, поскольку в самой САПР для разработки электроники необходимые инструменты и модули часто отсутствуют. Многие современные проекты создавались таким способом, однако шансы на успех в данном случае полностью зависели от

навыков и опыта разработчиков. Нельзя упускать ни одной мелочи, так как невнимательность может привести к возникновению ошибок из-за человеческого фактора. Особенно сложно избежать ошибок, когда работа выполняется в сжатые сроки. Но конструкции плат становятся все более сложными, тогда как время, отводимое на каждый шаг проектирования, напротив, сокращается, и, как следствие, нагрузка на разработчика возрастает.

Если же САПР позволяет заранее в параметрах проекта задать гибкое или гибко-жесткое исполнение платы, автоматически устанавливая и связывая друг с другом все необходимые ограничения, то процесс проектирования значительно упрощается. В этом случае функциональные возможности программного обеспечения сами направляют разработчика к верной конструкции. Для проектирования современных сложных гибких и гибко-жестких плат такой подход является критически важным. Пример подобного подхода в Xpedition Enterprise и в PADS Professional от компании Mentor a Siemens Business показан далее.

КОНТУРЫ ЧАСТЕЙ ПЛАТЫ И СТРУКТУРЫ СЛОЕВ

Современные гибкие и гибко-жесткие печатные платы могут содержать несколько областей (контуров) с уникальными наборами слоев для каждого. Структура слоев или, как их еще называют, стеки слоев для различных областей четко определяются посредством специализированных средств САПР. Это важно, поскольку информация о стеке используется в ходе последующих этапов разработки, таких как анализ целостности сигналов или технологическая подготовка данных для передачи на производство. Наличие собственного набора слоев для каждой области также необходимо при проверке правил проектирования и при построении трехмерной модели изделия.

Существует два основных подхода, которые используются в САПР для создания стеков с определенными параметрами в разных областях платы:

1. установить общий контур для всей платы, но разрешить пользователю задавать границы зон в пределах общего контура. Для каждой зоны при этом определяется своя структура слоев;
2. установить для различных областей отдельные контуры с соответствующими структурами слоев, при этом общий контур платы отсутствует, а границы платы для производства определяются автоматически путем объединения всех контуров.

В Xpedition Enterprise используется второй вариант. Несмотря на то, что оба подхода кажутся близкими, последствия даже незначительного изменения конструкции для указанных вариантов будут сильно отличаться.

Если рассмотреть простую конструкцию гибко-жесткой печатной платы (рис. 4) для первого подхода (следует обратить внимание, что шлейфы гибко-жесткой платы

частично перекрываются), то потребуется восемь областей, каждая из которых будет иметь собственный набор слоев (рис. 5).

Теперь предположим, что необходимо немного увеличить длину шлейфа. Данное действие стандартно для гибких конструкций, которые могут подвергаться множеству циклов сгибаний в ходе эксплуатации (в зависимости от назначения платы), и воздействует на контуры шести зон: 2, 3, 5, 6, 7 и 8 (см. рис. 5). В некоторых случаях программное обеспечение потребует создания новых областей и наборов слоев, чтобы изменить другие области (например, если при растяжении добавится новая область пересечения гибких шлейфов).

Работая с Xpedition, та же операция потребует изменения только одного контура – под номером 3 (рис. 6) и небольшого сдвига области 5. Следует отметить, что

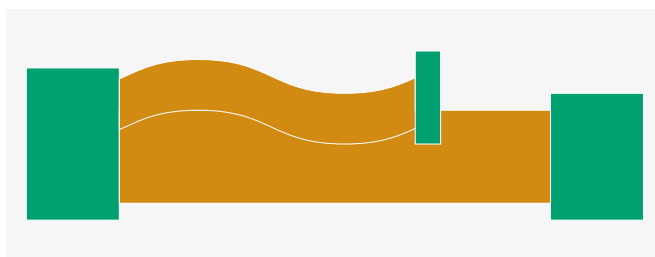


Рис. 4. Конструкция гибко-жесткой платы с частично перекрывающимися шлейфами

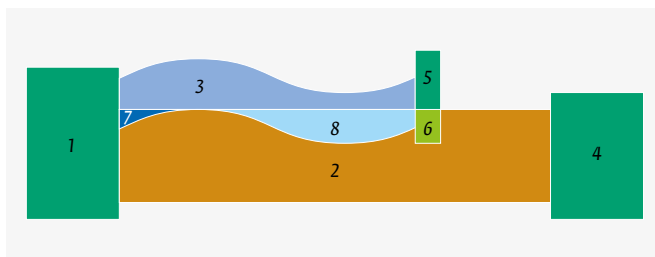


Рис. 5. Области с различными структурами слоев при реализации в САПР подхода на основе общего контура платы

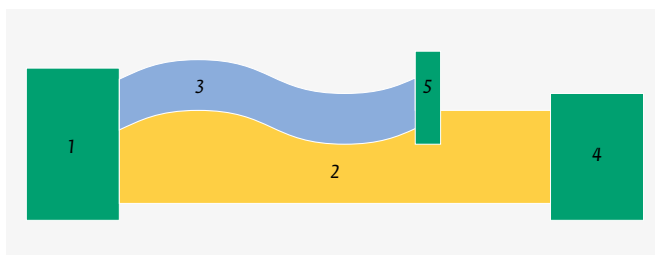


Рис. 6. Области с различными структурами слоев при реализации в САПР подхода на основе нескольких контуров для разных частей платы

подобный подход также упрощает работу с эластичными платами, части которых могут не только гнуться, но и претерпевать значительное растяжение [9].

Таким образом, установление соответствия между структурами слоев и отдельными контурами частей платы позволяет быстро и безопасно изменять даже сложные конструкции гибко-жестких и эластичных плат. В Xpedition всё, что вам нужно – это создать проект гибкой платы, нарисовать в нем контуры жестких и гибких частей и присвоить каждому из контуров необходимый набор слоев. Кроме того, каждому контуру платы дается имя, чтобы его легко можно было распознать, когда контуры частично или полностью перекрываются.

ПОКРОВНЫЙ СЛОЙ

Покровный слой представляет собой разновидность защитного покрытия, которое располагается поверх фольги внешних слоев на гибких участках платы. Данное покрытие обеспечивает лучшую защиту от износа и царапин по сравнению с паяльной маской, улучшает адгезию металлической фольги к базовому материалу гибких участков, а также помогает увеличить гибкость конструкции.

Лист покровной пленки может охватывать всю плату, в таком случае он встраивается в стек всех областей, в том числе жестких. Такой вариант называется «встроенным покровным слоем» (рис. 7).

В Xpedition для реализации встроенного покровного слоя необходимо включить покровную пленку в стеки всех контуров платы.

Альтернативным вариантом является частичное или селективное перекрытие, при котором покровный слой закрывает только участки, нуждающиеся в защите (например, гибкие области гибко-жесткой платы). Данный вариант также известен как «локальный покровный слой» (рис. 8). С помощью Xpedition этот вариант можно реализовать, если включить покровный слой в стеки гибких контуров, убрав его из структуры слоев жестких участков (при этом заменив в жестких участках покровную пленку на другой диэлектрик).

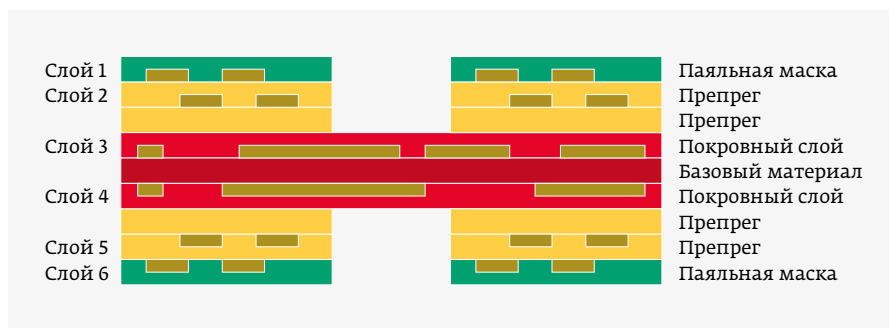


Рис. 7. Пример структуры гибко-жесткой платы со встроенным покровным слоем

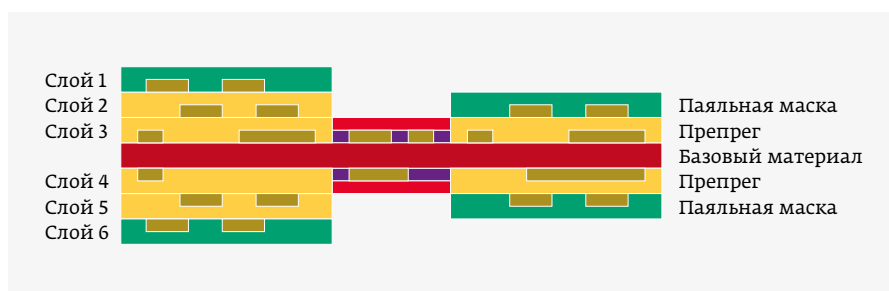


Рис. 8. Пример структуры гибко-жесткой платы с локальным покровным слоем

Для повышения прочности при изготовлении плат рекомендуется, чтобы покровный слой немного заходил в стек жестких областей.

При размещении компонента на покровном слое в защитной пленке необходимо создавать освобождения под пайку компонента. Вскрытия в покровной пленке часто отличаются от освобождений в паяльной маске по своей форме и размеру (рис. 9). Причиной этого служит то, что покровной пленке необходимо частично перекрывать площадку по контуру с целью улучшения адгезии меди к базовому материалу.

Покровный слой приклеен к меди и базовому диэлектрику посредством адгезива. Адгезив представляет собой

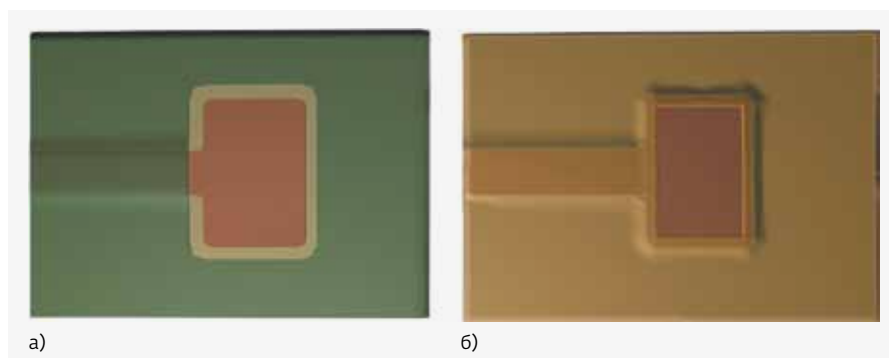


Рис. 9. Вскрытие паяльной маски (а) и вскрытие покровного слоя (б) для одной и той же контактной площадки

пленочный или листовый материал значительной толщины, поэтому необходимо включать его в структуру слоев для последующего анализа в специализированных программных средствах.

КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ И ПОКРОВНЫЙ СЛОЙ

Если компонент размещается на жестком участке платы, то инструменты САПР печатных плат будут автоматически генерировать вскрытие паяльной маски под площадки компонента в соответствующем слое. Когда компонент перемещается на участок с покровным слоем, то необходимо, чтобы вместо вскрытия маски инструменты САПР генерировали вскрытие покровного слоя. Данную возможность позволяет реализовать интеллектуальная система формирования контактных площадок системы Xpeditio. Формируя контактную площадку, можно задать одновременно как соответствующую ей форму вскрытия паяльной маски, так и форму вскрытия покровного слоя. При этом Xpeditio будет следить за тем, где располагается компонент и автоматически управлять его состоянием, выставляя при необходимости освобождение в паяльной маске или в покровном слое.

ЭЛЕМЕНТЫ ЖЕСТКОСТИ (УПРОЧНИТЕЛИ)

Элементы жесткости (stiffeners) или упрочняющие накладки представляют собой фрагменты, выполненные из твердого материала и присоединяемые к определенным участкам гибких областей платы с целью придания этим участкам жесткости. Данный подход используется для обеспечения сборки компонентов на гибких участках платы или при создании на гибких участках жестких фрагментов со сквозными отверстиями для традиционно монтируемых компонентов. Материалы упрочняющих накладок могут быть проводящими, например металлы, или непроводящими, такими как пластик или композит FR4.

В Xpeditio элементы жесткости необходимо определить как слой структуры платы – stiffeners layer, после чего можно нарисовать упрочняющие накладки нужной конфигурации с помощью объектов типа stiffener-shape, используя стандартные инструменты рисования. Если необходимо разместить традиционно монтируемый компонент на упрочняющей накладке, нужно создать отверстия в накладке для того, чтобы вывод компонента достиг слоя медной фольги на нижней стороне платы и компонент можно было припаять. Каждое из этих отверстий определяется как дополнительный слой с необходимой геометрией в составе контактной площадки, аналогично слою для вскрытия покровного слоя. Xpeditio автоматически вставляет соответствующий слой в структуру контактной площадки компонента, в зависимости от того, где расположен компонент.

Элементы жесткости обычно производятся в отдельном технологическом процессе, а затем приклеиваются

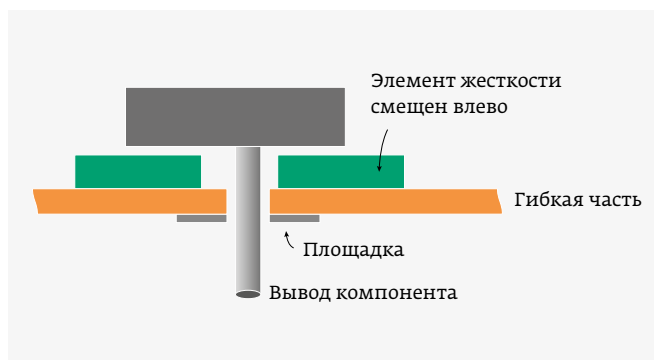


Рис. 10. Элемент жесткости с отверстием большего размера для компенсации при возможном смещении

к гибкой части при помощи адгезива. По этой причине существует риск их смещения относительно требуемого положения. Если смещение слишком велико, то вывод традиционно монтируемого компонента нельзя будет вставить в отверстие. Для борьбы с рассогласованием отверстия в упрочняющих накладках сверлят большего диаметра, чем необходимо, так что даже при некотором смещении элемента жесткости сквозное отверстие имеет достаточный диаметр для того, чтобы в него можно было вставить вывод компонента (рис. 10).

АДГЕЗИВ

Адгезивы используются для соединения медной фольги с базовой пленкой, а также объединяют слои в многослойных гибко-жестких конструкциях. Роль адгезивов является определяющей и критической для свойств конечного изделия. Часто они могут быть ограничивающим элементом в термических свойствах гибких и гибко-жестких платах, когда в качестве базового материала используется полиимид [1].

В простейшем случае адгезив покрывает все внутренние слои платы или мультизаготовки, и все, что нужно разработчику – это включить слои адгезива в общую структуру слоев платы. Однако существуют ситуации, когда адгезив необходимо нанести только в определенных местах одного из контуров (например, только на определенные участки гибкого контура). Чтобы это осуществить, сначала также необходимо включить адгезив в общий стек слоев платы, а дальше, как и в случае с элементами жесткости, необходимо нарисовать одну или несколько областей нанесения адгезива с помощью инструментов рисования, задавая созданным объектам тип Adhesive Layer.

ЗОНЫ СГИБОВ

При разработке гибкой конструкции платы разработчик должен определить, в каких местах и каким образом плата

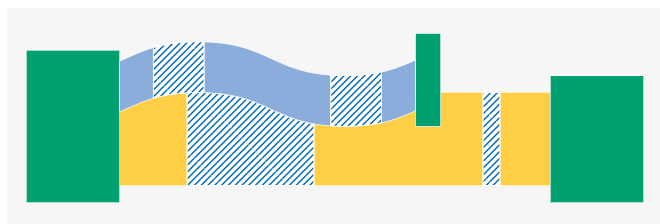


Рис. 11. Влияние радиуса и угла изгиба гибкой части на ширину зоны bend area

должна сгибаться, а также какими конструкторскими решениями необходимо воспользоваться для анализа зоны воздействия изгиба.

Xpdition включает в себя возможность создания объекта «зона изгиба» (bend area), который определяет место, где происходит изгиб. Свойства bend area определяют величину возможного изгиба: угол, направление («+» или «-»), а также радиус изгиба (насколько легко сгибается материал). В то время как центр изгиба можно изобразить в виде линии, участки гибкой платы, на которые воздействует изгиб, являются достаточно обширными, а при увеличении радиуса и угла изгиба зона bend area увеличивается (рис. 11).

Контроль конструктивных особенностей в зоне изгиба очень полезен, так как некоторые элементы топологии, при их расположении в данной зоне, могут приводить к проблемам с надежностью. Чтобы определить, какие особенности конструкции разрешены в зоне изгиба, а какие нет, можно воспользоваться окном свойств данной зоны (рис. 12).

Например, можно установить следующие свойства области изгиба: предельное изменение ширины

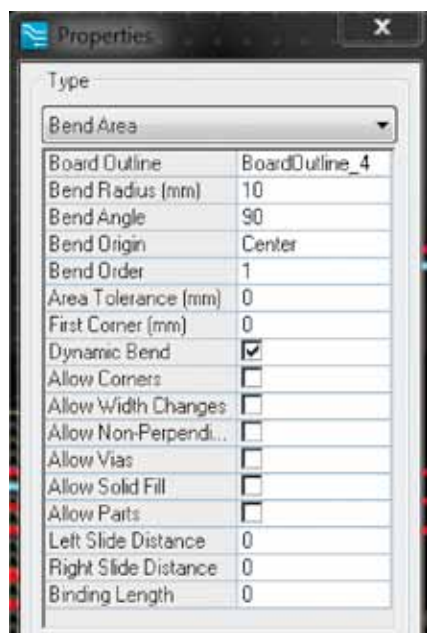


Рис. 12. Окно свойств зоны изгиба в Xpdition Enterprise

проводников при изгибе; предельный угол изгиба проводников; наличие сквозных отверстий; наличие компонентов; наличие проводников, не перпендикулярных изгибу (параллельных линии изгиба); наличие сплошных областей металлизации и проч.

Online DRC (проверка правил проектирования в реальном времени) и Batch DRC (проверка правил проектирования по требованию пользователя) используют свойства областей изгиба для подтверждения приемлемости и применимости текущей конструкции. Тем самым проверки предупреждают разработчика от нарушения правил проектирования и от внесения ненужных изменений в конструкцию изделия в последнюю минуту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под. общ. ред. А. М. Медведева и Г. В. Мылова. – М.: Групп ИДТ, 2008. 488 с.
2. **Becker D.** All flex flexible circuits. The PCB Magazine, 2017. P. 12–16.
3. Flexible PCB Market to Reach USD 27.6 Billion by 2023. [Электронный ресурс] PCB Directory. – URL: <https://www.pcbdirectory.com/news/flexible-pcb-market-to-reach-usd-27-6-billion-by-2023> (дата обращения 03.08.20).
4. Rigid Flex PCB Market Overview. [Электронный ресурс] IndustryARC. – URL: <https://www.industryarc.com/Report/19047/rigid-flex-pcb-market> (дата обращения 03.08.20).
5. Flexible Printed Circuit Boards PPT VIDEO. [Электронный ресурс] Allied Markets Research. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=wdsPeoRH_0 (дата обращения 03.08.20).
6. **Ponomarev N., Vertyanov D., Nikolaev V., Timoshenkov S.** Research of the Constructions of Conductors on Flexible Carriers // 2018 ElConRus Conference IEEE-2018. PP. 1626–1630.
7. **Николаев В. М., Вертянов Д. В., Шишов А. М., Мусаткин А. С., Кручинин С. М.** Обзор существующих технологий формирования микросистемных устройств на пластичных основаниях // В сб: Современные тенденции в научной деятельности / Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Астрахань: Научный центр «Олимп», 2015. С. 981–989.
8. **Vertyanov D. V., Tikhonov K. S., Timoshenkov S. P., Petrov V. S., Blinov G. A.** Peculiarities of multichip micro module frameless design with ball contacts on the flexible board // 2013 IEEE 33rd International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology, 2013. PP. 417–419.
9. **Пономарёв Н. А., Калугин В. В., Вертянов Д. В., Николаев В. М.** Исследование различных форм проводников на пластичных подложках // Интеллектуальные системы и микросистемная техника. – Кабардино-Балкария, 2018. С. 141–148.