

# Особенности проектирования гибких и гибко-жестких печатных плат

## Часть 2

УДК 621.382 | ВАК 05.13.12

П. Виклунд<sup>1</sup>, Д. Вертянов<sup>2</sup>, И. Беляков<sup>3</sup>, С. Евстафьев, к. т. н.<sup>4</sup>

Во второй части статьи рассмотрены основные особенности процессов размещения компонентов, трассировки и создания полигонов на гибких участках, формирования ассоциативных трёхмерных моделей и технологической подготовки к производству гибких и гибко-жестких печатных плат на примере сквозных маршрутов Mentor Graphics Xpedition и PADS Professional.

### РАЗМЕЩЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ

Как правило, разработчики жестких печатных плат имеют дело с расположением компонентов на лицевой или обратной стороне платы, за исключением более редких случаев, когда применяются встроенные компоненты или несквозные полости в плате. В гибких и гибко-жестких платах компоненты также обычно располагаются на лицевой или обратной стороне, однако по причине того, что разные контуры платы имеют различную структуру слоев, внутренние слои одних контуров могут быть внешними для других (рис. 13).

Наиболее очевидным подходом является создание библиотеки компонентов для каждого набора слоев. Но сопровождение нескольких библиотек потребует огромных трудозатрат, поэтому на практике используется другой подход. В Xpedition разработчик может просто выбрать компонент на одном участке платы, имеющем один набор слоев, и перенести на другой участок, имеющий другой набор слоев. При этом компонент будет размещаться на самом верхнем (нижнем) слое и автоматически обновлять параметры и настройки своих контактных площадок в соответствии с набором слоев новой области.

### ТРАССИРОВКА ГИБКИХ УЧАСТКОВ

Трассировка гибко-жестких плат требует решения различных проблем проектирования в жестких и гибких областях. Так, жесткие участки гибко-жесткой платы трассируются так же, как обычные печатные платы. В то же

время гибкие участки часто имеют протяженные контуры сложной формы (с изгибами в плоскости платы), что требует совершенно иной стратегии трассировки.

Если имеется гибкий шлейф сложной формы и множество сигнальных проводников, которые могут быть размещены на гибком участке с достаточно малым шагом, то необходим особый алгоритм трассировки, который должен реализовывать размещение всех необходимых проводников с определенным шагом вдоль контура заданного гибкого участка. САПР на платформе Xpedition предоставляет несколько вариантов решения этой проблемы.

В ходе трассировки также важно, чтобы все трассы в местах изгибов шлейфа (в плоскости платы) имели форму непрерывной дуги (true arc), а не аппроксимировались отдельными линиями-сегментами. Даже в тех случаях, когда дуги были разделены на 64 сегмента, это могло стать причиной возникновения внутренних напряжений, обусловленных неидеальной формой дуги. В Xpedition все

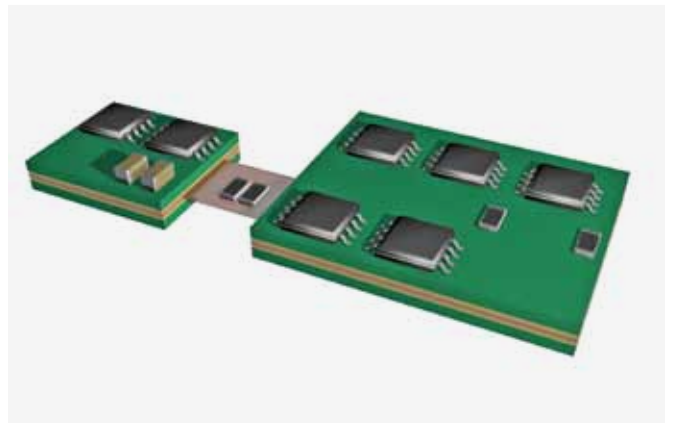


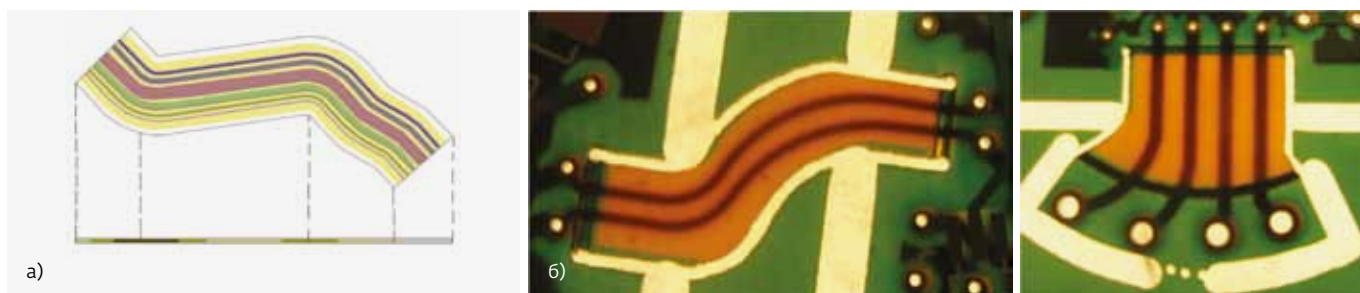
Рис. 13. Наружный слой одной платы может быть внутренним слоем другой в пределах одной конструкции

<sup>1</sup> Mentor, A Siemens Business, директор системных решений, ru\_soft@mentor.com.

<sup>2</sup> Институт НМСТ НИУ МИЭТ, руководитель УНЦ, vdv.vertyanov@gmail.com.

<sup>3</sup> Институт НМСТ НИУ МИЭТ, аспирант, igor-terra@yandex.ru.

<sup>4</sup> Институт НМСТ НИУ МИЭТ, доцент, madcatse@gmail.com.



**Рис. 14.** Схематичное изображение гибкого участка сложной формы с плотным расположением проводников (а) и образцы гибких соединителей с изгибами на изготовленной гибко-жесткой плате в составе мультизаготовки (б) (предоставлено ЗАО «НПП «ОПТЭКС»)

изогнутые трассы создаются с использованием примитивов в виде непрерывных дуг (рис. 14).

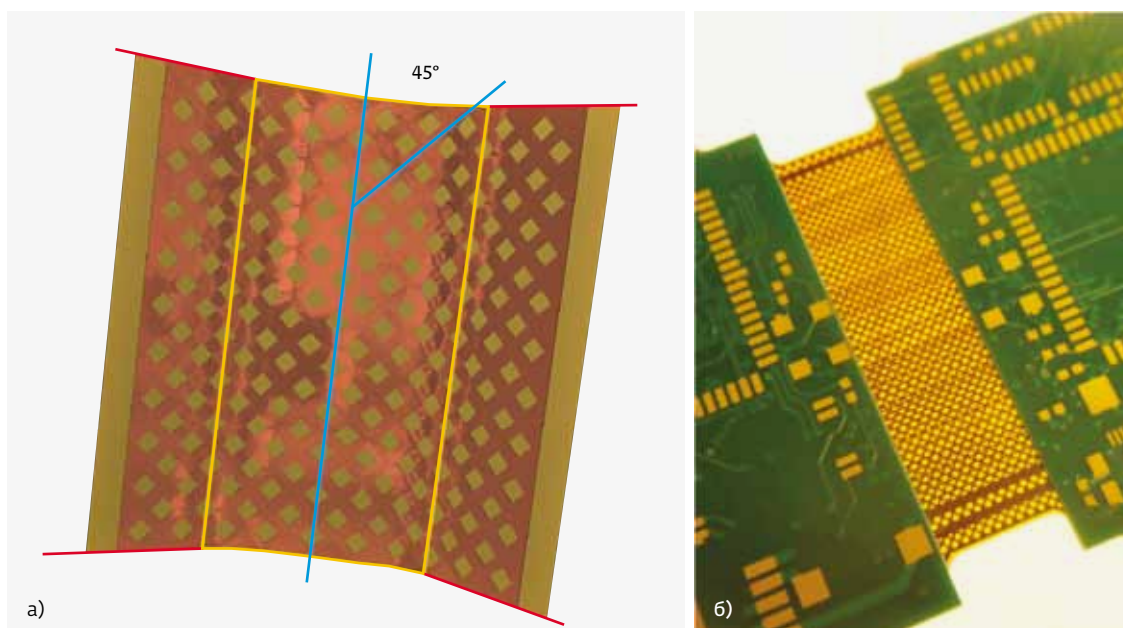
### ПОЛИГОНЫ НА ГИБКИХ УЧАСТКАХ

Как правило, наличие сплошной металлизации в областях изгиба гибких конструкций является недопустимым. Вместо сплошной металлизации в таких областях используются стандартные шаблоны сетчатой штриховки полигонов. При этом для обеспечения лучшей надежности и предотвращения усталости металла сетчатая штриховка должна выполняться под  $45^\circ$  к линии изгиба (рис. 15). Но необходимо отметить, что сам гибкий участок может располагаться под любым углом к границам других контуров (например, к границе соединяемых жестких участков), кроме того сама линия изгиба гибкой части может располагаться под углом. Так что угол штриховки под  $45^\circ$  к линии сгиба на практике может означать любой угол штриховки. В Xpedition существует возможность задания подобного собственного угла штриховки

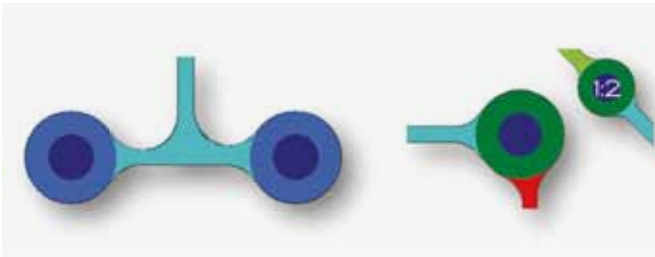
для каждого полигона. Это реализуется с помощью диалогового окна Plane Class and Parameters.

### СГЛАЖИВАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДКАХ И ТРАССАХ

Всякий раз, когда происходит резкое растяжение, сжатие или изгиб участка платы, на этом участке возникают напряжения, которые могут привести к образованию трещин в медной фольге. Основным методом борьбы с этой проблемой – использование в конструкции гибких плат сглаживающих элементов «каплевидной» формы от контактных площадок (teardrops), а также выравниваний при изменении ширины трасс или сглаживаний Т-образных соединений посредством дугообразных профилей (trace drops) (рис. 16). Xpedition отличается тем, что позволяет создавать и поддерживать сглаживания в динамическом режиме, а также проверять наличие ошибок при создании каплевидного сглаживания посредством DRC.



**Рис. 15.** Сетчатая заливка полигона под  $45^\circ$  к линии сгиба (линия сгиба показана синим) (а); сетчатая заливка полигона на гибко-жесткой плате производства ЗАО «НПП «ОПТЭКС» (показана гибкая часть на просвет) (б)

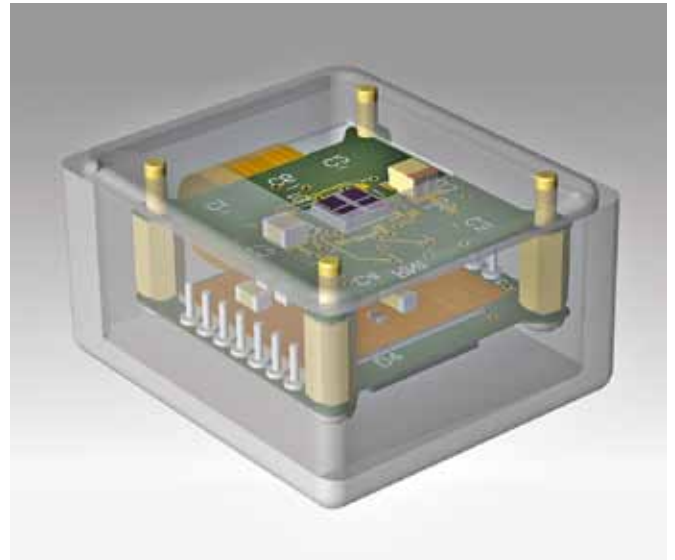


**Рис. 16.** Каплевидные переходы, предотвращающие концентрацию механических напряжений и, как следствие, разрушение металлических проводников на локальных участках платы

### ТРЕХМЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

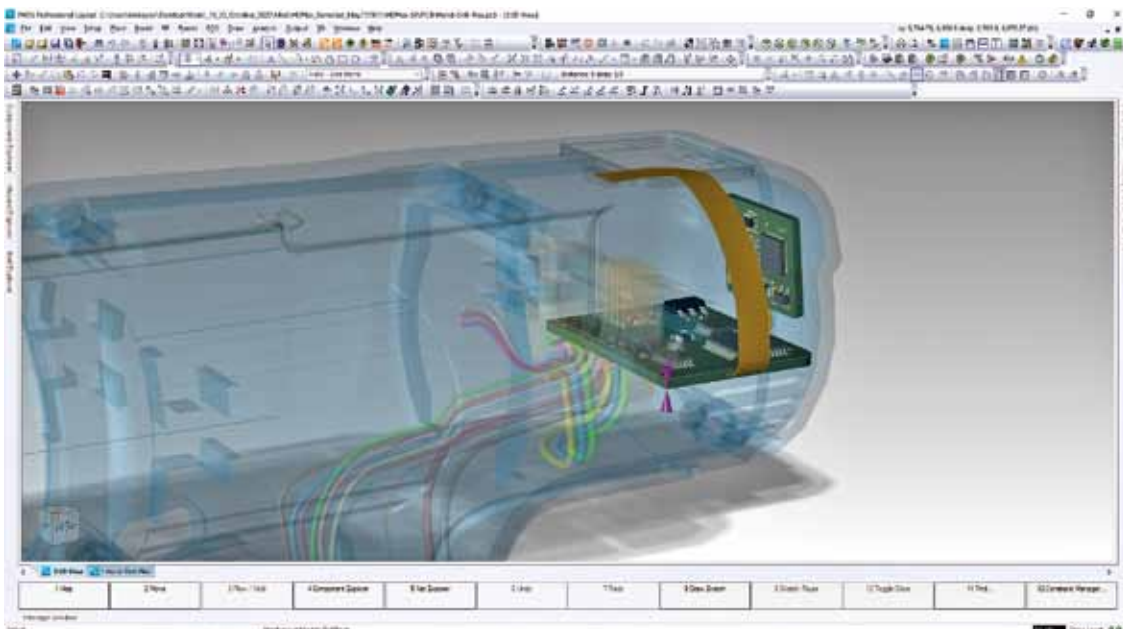
Возможность трехмерного просмотра платы или печатного узла является большим преимуществом, позволяющим разработчикам видеть сложную структуру устройств и передавать информацию об этой структуре другим участникам команды. Сегодня требования возросли – теперь необходимо 3D-проектирование, а не только 3D-просмотр.

Во-первых, 3D-вид изделия должен быть синхронизирован с его двумерными изображениями, а все изменения, сделанные в 2D-режиме, должны отображаться в 3D и наоборот. Во-вторых, необходимо обеспечить возможность изменения конструкции изделия непосредственно в 3D-режиме, так как многие устройства, сложные для понимания при двумерном представлении, могут быть очевидными в трехмерном виде. Кроме того, разработчик должен иметь возможность вставить трехмерную модель корпуса изделия в проект, чтобы отслеживать его возможные конфликты с печатным узлом (рис. 17).



**Рис. 17.** Гибко-жесткая плата в окне трехмерного вида Xpediton в корпусе (корпусу задано значение прозрачности в 60%, что позволяет видеть плату и корпус одновременно)

Также важной функциональной возможностью является проведение измерений на трехмерном виде, когда гибкие участки выпрямлены или сложены/согнуты (рис. 18). В результате, можно видеть, например, попадает ли разъем гибкого шлейфа в требуемое место (отверстие корпуса или разъем другой платы) и, если нет, насколько сильно реальное положение разъема отличается от необходимого. Если расположение шлейфа отличается от требуемого, можно увеличить длину шлейфа или скорректировать расположение компонента (разъема).



**Рис. 18.** Трехмерный фотореалистичный вид гибко-жесткой платы в PADS Professional

Наконец, важно иметь возможность экспортировать модель гибко-жесткого печатного узла в сборе таким образом, чтобы команда конструкторов могла ее открыть в привычной для себя среде трехмерного проектирования. Xpediton поддерживает экспорт в несколько форматов, к числу которых относится STEP, SAT (формат ядра моделирования ACIS), а с версии Xpediton 2.7 к указанным форматам добавился также формат JT.

Еще одним важным моментом является экспорт всех деталей и элементов печатного узла (в том числе компонентов, трасс, переходных отверстий с металлизацией и покрывных слоев) в трехмерную модель. Такой подход важен для последующего моделирования при реализации концепции цифрового двойника, в особенности, если изделие запускается на производство впервые и необходимо максимально точно определить множество различных механических и электрических параметров.

Однако далеко не всегда все цепи платы оказывают значительное влияние на моделируемые параметры. Например, расчет механических напряжений в гибких частях требует наличия в модели только проводников гибких участков, другие же проводники будут лишь усложнять процесс моделирования. Поэтому Xpediton позволяет перенести в трехмерную модель только нужные трассы с помощью функции Select Nets при экспорте модели.

## ЦЕЛОСТНОСТЬ СИГНАЛОВ И ПИТАНИЯ

В настоящее время большинство проектов электронных изделий требуют определенного уровня анализа целостности сигналов и питания как важного этапа процесса проектирования.

Такой подход уже широко применяется для плат с одним стеклом, а в настоящее время он совершенствуется и для конструкций гибко-жестких и гибких плат, где множество жестких и гибких участков имеет свои стеки, а кроме того, присутствуют локальные слои адгезива и элементы жесткости, также требующие корректного анализа. Для анализа целостности сигналов в гибко-жестких платах применяется HyperLynx SI, который учитывает, как проходят межсоединения в различных стеках, и применяет правильные методы моделирования для каждой области платы (рис. 19). Данный анализ используется для того, чтобы обеспечить работоспособность конструкций со сложной структурой слоев и составом.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА К ПРОИЗВОДСТВУ

При технологической подготовке проектов гибких и гибко-жестких плат к производству важно учитывать, какие технологии, оборудование и материалы применяются на производстве. Так на первых этапах развития гибких плат большая их часть изготавливалась на фольгированных материалах, в которых медь соединялась с диэлектриком через клей-адгезив, например, на эпоксидной основе. Однако использование адгезива ведет, как к необходимости учитывать его при моделировании, так и к проблемам при производстве. В частности, традиционно используемые щелочные травители полиимида (применяемые для получения отверстий) химически не воздействуют на клей, поэтому для его удаления требуются специальные кислотные растворы. По этим причинам, в настоящее время, более распространены безадгезивные

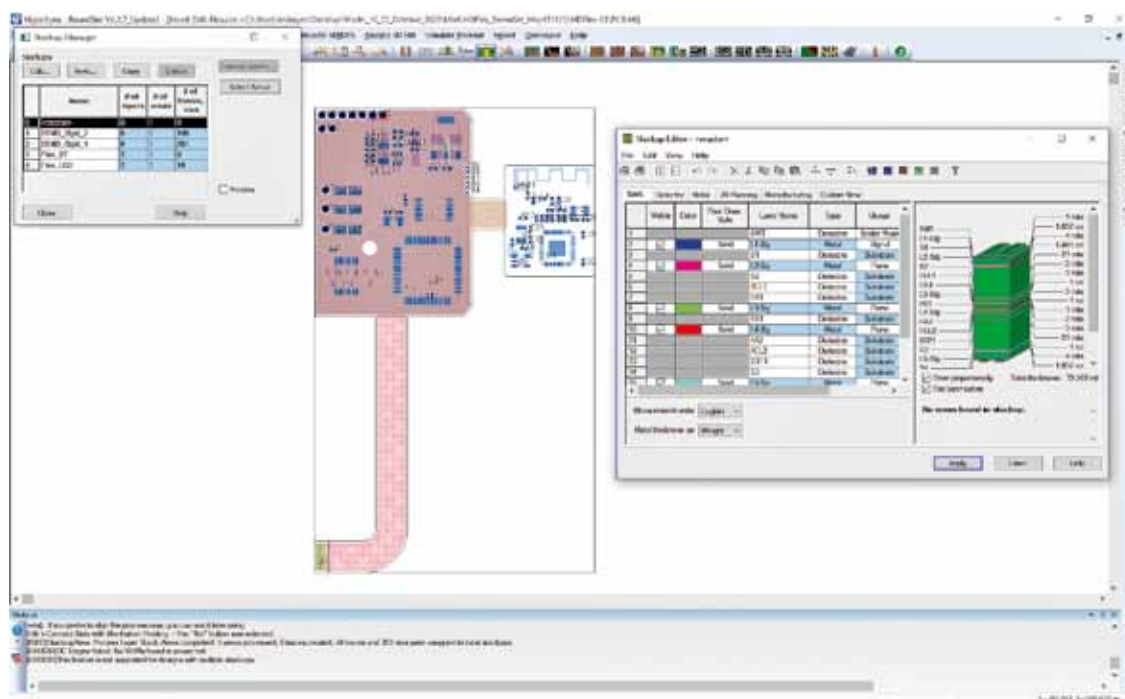


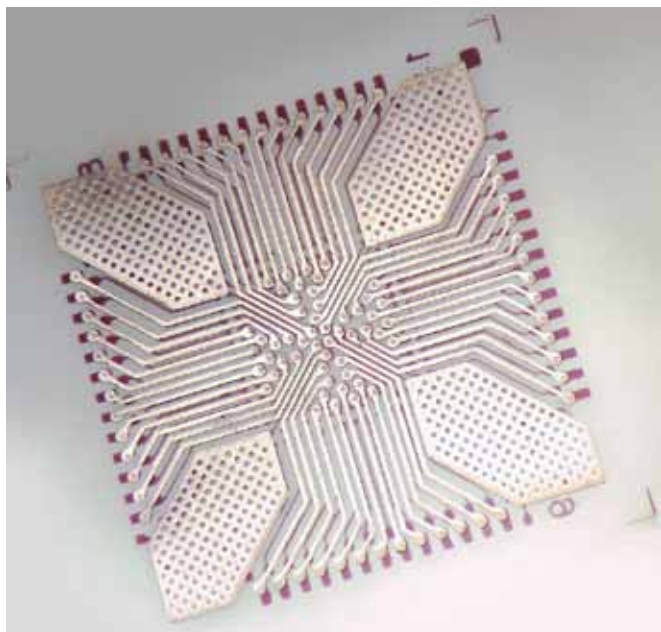
Рис. 19. Плата с несколькими стеками для разных областей в HyperLynx

полиимиды (рис. 20), хотя материалы с адгезивом также продолжают использоваться. Указанные факты говорят о том, что при создании проекта важно обращать внимание на конкретный материал гибкого диэлектрика, вводя его параметры в проект.

Кроме того важным является указание того, каким образом в гибких участках будут создаваться отверстия. Как было сказано ранее, при использовании диэлектриков с адгезивом травление отверстий затруднено, и для создания переходов используются либо сверление, либо лазерная обработка.

В настоящее время лазерная обработка или лазерное сверление активно применяется для плат с высокой плотностью коммутации и малым диаметром отверстий – до нескольких десятков микрон. В отличие от жидкостного травления, обработка лазером позволяет получать отверстия с почти вертикальными стенками, однако в то же время требуется тщательный контроль режима обработки для предотвращения карбонизации или обугливания материала. В связи с этим для создания отверстий чаще используют УФ-лазеры, излучение которых поглощается органическим диэлектриком гораздо лучше, чем излучение ИК-спектра, традиционно используемого для абляции металла (хотя ИК-лазеры в некоторых случаях также могут использоваться для формирования отверстий в органическом диэлектрике).

Сверление также позволяет создавать отверстия достаточно малого размера, вплоть до 50 мкм диаметром.



**Рис. 20.** Гибкая плата под монтаж кристалла методом flip-chip с отверстиями, полученными химическим травлением безадгезивного полиимиды (предоставлено ЗАО «НПП «ОПТЭК»)

Однако для этого требуется специализированное оборудование, минимизирующее биение сверла и позволяющее производить сверление на высоких оборотах.

В Xpedition предусмотрена возможность выбирать способ получения переходных отверстий. Для этого в соответствующем редакторе центральной библиотеки достаточно изменить способ получения отверстия в настройках Padstack во вкладке Holes. Таким образом, можно использовать в проекте сразу несколько типов отверстий, получаемых по различным технологиям (например, когда в гибкой части отверстия создаются травлением, а на жестких участках сквозные переходы получают сверлением).

Помимо этого, в некоторых специальных типах гибких плат возможно формирование слоя полиимиды непосредственно с помощью лака путем послойного наращивания. Такой подход активно применяется, например, в современных корпусах и микросборках, выполненных по технологии WLP. В Xpedition подобный подход можно реализовать посредством указания типа слоя, изменив его на build-up. Также в таких случаях часто используют фоточувствительные материалы (полиимид, полибензоксазол, бензоциклобутен), что позволяет формировать отверстия методом литографии. Данный метод формирования отверстий также можно задать в библиотеки маршрута Xpedition.

В целом, гибко-жесткие платы представляют собой сложные конструкции, сочетающие гибкие и жесткие части, каждая из которых может иметь свой набор слоев. При передаче таких плат на производство возникают проблемы с пониманием той конструкции, которую задумал разработчик. Даже те предположения, которые на первый взгляд кажутся вполне логичными, могут приводить к ошибкам и значительным затратам. Избежать проблем позволяет применение ODB++ в качестве формата передачи данных на производство. Данный формат позволяет сохранять и передавать всю специфичную для гибких и гибко-жестких плат информацию. Для верификации, оптимизации и синхронизации всех производственных файлов печатных плат в сквозном маршруте САПР Mentor Graphics применяется Xpedition DFM. Данная программа основана на ядре самой популярной в мире системы Valor NPI для комплексного анализа проектов на технологичность и выявления возможных проблем при производстве.

\* \* \*

Для создания сложных гибких и гибко-жестких плат (рис. 21), применяемых сегодня во всех отраслях промышленности, необходимы средства проектирования и модули, которые действительно будут помогать разработчику осуществлять свои идеи. Дефицит подобных средств проектирования приводит к тому, что на разработчика гибких и гибко-жестких плат ложится огромная ответственность, и кроме того повышается вероятность возникновения серьезных ошибок в проекте.

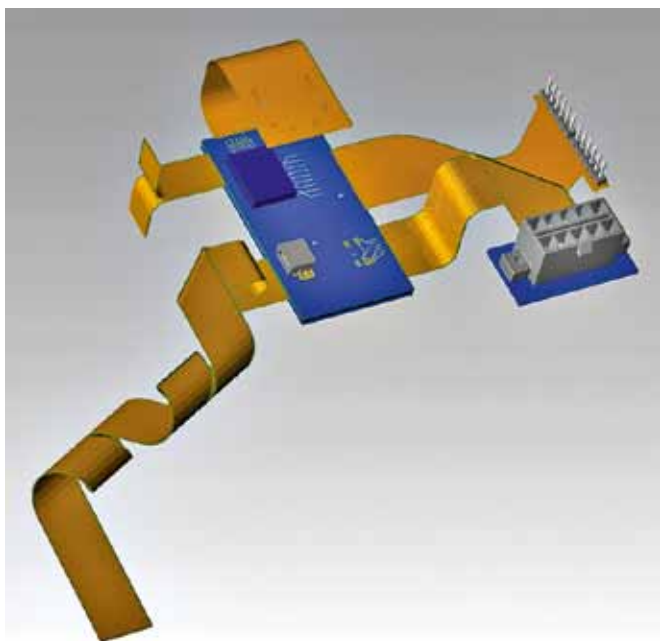


Рис. 21. Трехмерная модель сложной гибко-жесткой платы, созданная с помощью средств Xpediton

Xpediton предоставляет следующие решения:

- позволяет свободно создавать как простые, так и сложные конструкции гибких и гибко-жестких плат;
- позволяет с минимальными усилиями вносить изменения в наборы слоев и контуры плат;
- поддерживает не только трехмерный просмотр конструкции изделий, но и редактирование, а также проверку в трехмерном режиме;
- при подготовке к производству обеспечивает надежность и однозначность понимания конструкции изделия.

Все эти решения позволяют сократить время разработки, а также обеспечивают правильность конструкции, что положительно влияет на производительность, снижение рисков и уменьшение стоимости изделия.

## 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. PP. 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-reachusd-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=wdgsPeoRH\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=wdgsPeoRH_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 микроэлектронных 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 micromodule 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.



Акционерное общество  
**ЭРКОН**  
Научно-производственное объединение

603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д. 6,  
помещение ПЗ, этаж 2, офис 204

**Разработка и производство постоянных непроволочных резисторов, СВЧ резисторов, поглотителей и чип-индуктивностей.**

- Современная производственная база.
- Высокое качество.
- Индивидуальный подход к потребителю.

**Новинки:**

Аттенуатор (поглотитель) ПР1-25 (150 Вт, от 3 до 30 Дб)  
Резистор сверхвысокочастотный Р1-160 (до 20 ГГц)  
Мощный резистор Р1-170 (до 1000 Вт)

тел. (831)464-50-71 (приемная), (831)202-25-52 отдел продаж



**www.erkon-nn.ru**  
e-mail: info@erkon-nn.com