

# Об автоматизации проверки конструкции между слоями гибко-жестких печатных плат в САПР Allegro и OrCAD

**Гибкие и гибко-жесткие печатные платы позволяют производителям использовать их в различных продуктах малого размера и веса, таких как, например, носимая электроника, мобильные устройства, приборы военного и медицинского назначения. Поскольку изначально технология производства гибких ПП была нацелена на создание более легких и меньших по размеру изделий, то с ее развитием возникли новые конструкторские задачи. В статье обсуждаются некоторые из них, а также описываются новые подходы к разработке ПП, увеличивающие производительность с помощью автоматических проверок конструкции платы между ее слоями, что необходимо для итеративного процесса проектирования.**

Эд Хики (Ed Hickey)  
Перевод: Ольга Очур

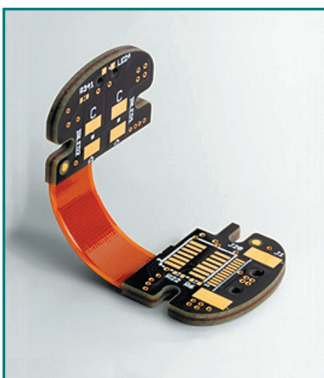
## Введение

Внутри различных электронных устройств небольшого размера, от наушников до смартфонов, планшетов и ноутбуков, находятся гибко-жесткие ПП, которые состоят из жестких и гибких подложек, ламинированных вместе. Такие схемы обычно надежны, подвижны и позволяют эффективно использовать пространство. Эти конструкции предпочтительны для создания форм малого размера для различных применений, поэтому данный тип ПП для электронных схем по-прежнему популярен, в частности в бытовой электронике (рис. 1). Гибко-жесткие ПП можно изгибать, поэтому разработчики могут разместить большее количество схем в освобожденном пространстве, и даже располагать друг над другом жесткие слои плат. Подобные структуры с несколькими слоями плат способствуют снижению стоимости всего изделия.

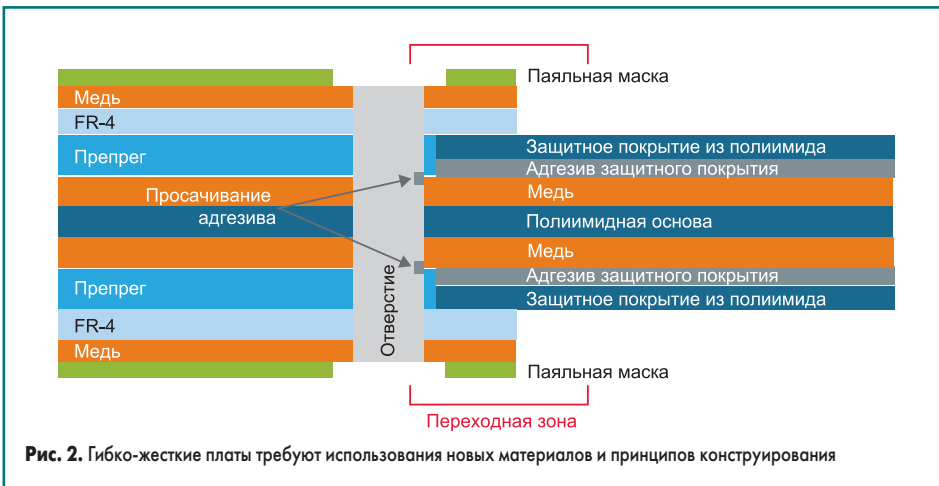
Раньше инженеры использовали гибкую часть платы в качестве соединителя между двумя жесткими платами. Однако за последние годы гибкие технологии значительно продвинулись в своем развитии. Теперь из-за ужесточившихся требований к экономии места разработчики размещают компоненты и на гибкой части платы, используя эту область как жесткую подложку. Технологии создания ПП, а именно гибко-жестких конструкций, конечно, не новы. Однако применение и жесткой, и гибкой частей для установки на них компонентов ПП поставило перед проектировщиками и изготовителями новые задачи, требующие более сложных технологий разработки и производства.

## Новые принципы разработки и новые материалы

Гибко-жесткие печатные платы состоят из областей (зон), где может использоваться и разное количество слоев, и разные материалы. Применение усилений, которые размещаются около или напротив компонентов, или около областей печатного соединителя, делает такие платы более жесткими. Усиления обычно выполняются из металла, например нержавеющей стали или алюминия, с добавлением диэлектрического материала, как в полиимидных сборках. Гибкая часть конструкции, как правило, состоит из диэлектрика, изогнутого в нескольких областях, которые не должны затрагивать зоны, где находятся компоненты или переходные отверстия, иначе возникнет напряжение материала или могут появиться трещины. Трассировка проводников должна проводиться строго перпендикулярно линии изгиба, чтобы избежать натяжения материала в этой области. Проводники, находящиеся на смежных слоях и проходящие через изогнутую область, должны быть смещены друг относительно друга, в противном случае появляется так называемый эффект I-BEAM (когда внутренняя и внешняя поверхности смещены, как у двутавровой балки). Проводники, проложенные таким образом, могут дополнительно усилить области, которые вообще-то должны быть гибкими. Существует и переходная зона — стыковка жесткой и гибкой частей, требующая соединения материалов внахлест и задания специального значения зазоров для отверстий и проводящих материалов. Переходная зона обычно рассматривается как область снятия внутренних напряжений. Можно



**Рис. 1.** Гибко-жесткие ПП идеальны для таких применений, как носимая электроника, где важны размер и вес изделия. Изображение предоставлено компанией Sierra Circuits



привести простой пример: конструкция с четырехслойной жесткой областью, соединенной с двуслойной гибкой частью, которая в свою очередь заканчивается на четырехслойной жесткой части. Сейчас обычны и более сложные конфигурации, и существует множество возможностей и способов их реализации. На рис. 2 подробно показаны слои и области гибко-жестких ПП.

Обычные САПР, которые раньше могли проверять поперечные сечения только одного стека слоев, теперь эволюционировали до того, что поддерживают формат проверки нескольких стеков, состоящих из разных структур ПП. Стандартные редакторы для инспекции ПП имеют проводящие, плоские, а также диэлектрические слои, усложненные наличием на них маски или покрытия, находящихся над/под поверхностью гибкой платы. Такие слои включают:

- верхнее защитное покрытие (coverlay) из пленки с покрытием из клеевых материалов, напрессованное на плату для того, чтобы защитить схему;
- маски из материалов, состоящих из благородных металлов, клеевых материалов и паяльных паст;
- усилители из нержавеющей стали или алюминия, которые ограничивают гибкость там, где находится компонент;
- области со специальными покрытиями типа ENERPIG.

Стараясь удовлетворить требования покупателей, производители продолжают вводить новшества в гибкие и гибко-жесткие конструкции, увеличивая число проводящих и непроводящих слоев. Кроме того, повышается и количество используемых типов материалов и, соответственно, способов и принципов конструирования таких плат. В результате для того, чтобы извлечь пользу из этих нововведений и убедиться, что конструкции пригодны для производства и соответствуют их ожиданиям, разработчикам требуется провести множество ручных неавтоматизированных проверок. В частности, чтобы обеспечить итеративное проектирование ПП, то есть последовательное улучшение конструкции, специалистам необходимо выполнить проверку конструкции платы между слоями и определить, нет ли каких-либо ошибок. В общем случае исправление недочетов по окончании

разработки занимает больше времени, чем обнаружение и немедленное исправление появившихся ошибок. Возможность сделать проверку в ходе проектирования позволяет избежать проведения двух самых продолжительных и сложных этапов:

- этапа ручной проверки после того, как разработка готова (перед тем, как передать плату в производство);
- итераций, когда разработчики должны проверить конструкцию, исправить ошибки, изменить конструкцию, проверить снова, исправить ошибки и т. д.

### Проверка между слоями в САПР Allegro

Применение функции проверки между слоями позволяет разработчикам проверить различные области гибко-жестких плат, включая:

- послысную проверку для оценки слоев паяльной маски и их сборки;
- область между верхним защитным покрытием и контактной площадкой;
- область между паяльной маской и площадкой;
- область между покрытием из благородного металла и защитным покрытием;
- область между изогнутой областью/линией и усилением, компонентом, выводом компонента, переходным отверстием;
- зазоры, например между границами в областях, находящихся между изогнутыми линиями и компонентами, между переходными отверстиями и изогнутыми линиями, между усилителями и изогнутой областью;
- внутри областей между золотом и защитным покрытием, выводами и защитным покрытием и между усилителями и их клеевым веществом;
- наслоения, когда две топологии пересекаются друг с другом на минимальное или большее расстояние, например когда паяльная маска затрагивает переходную область.

Обычно разработчикам требуется осуществить ручную проверку на наличие ошибок и соответствие проектным нормам либо автоматизировать этот процесс и написать собственное программное обеспечение. Существуют также программные средства, поддерживающие гибко-жесткие конструкции, но недостаточно удобные в использовании, поскольку они не охватывают области

между слоями, проверка которых теперь очень важна. Кроме того, инструменты должны быть более универсальными и способными проверять различные конструкции ПП, о чем пойдет речь в следующем разделе.

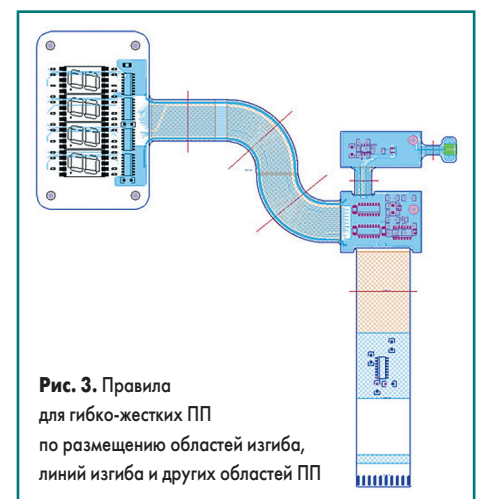
### Гибко-жесткие конструкции ПП

#### Связь между системами проектирования MCAD-ECAD

Для всех электронных устройств, которые должны быть размещены в замкнутых пространствах, необходимо использовать системы проектирования MCAD и ECAD, состыкованные между собой. Однако гибко-жесткие ПП требуют тщательного дополнительного изучения в случаях, когда при размещении в закрытом ограниченном пространстве их следует изогнуть. Проектировщикам нужно тщательно просчитать изгибаемую область, линию и радиус изгиба и предоставить эту информацию разработчикам, которые в свою очередь должны создать проект, соблюдая следующие правила (рис. 3):

- нельзя размещать переходные отверстия в изгибаемой области, чтобы избежать растрескивания подложки;
- нельзя размещать контактные площадки слишком близко к изгибаемой области, так как площадки могут попросту отслоиться;
- необходимо избегать наслаивания изгибаемых областей и усилений, иначе может произойти отслоение или ограничение величины изгиба;
- нельзя размещать усиления слишком близко к переходным отверстиям, чтобы избежать короткого замыкания.

Проектировщики также должны определить специальные границы для областей, где наблюдается различная толщина конструкции. В итоге нужно получить дополнительную информацию о структуре слоев и толщине областей, включая покрытие верхнего и нижнего слоя, чтобы точно вычислить толщину и обнаружить несоответствия до перехода от разработки к производству. Эти слои включают слой паяльной маски, защитный слой, усиления, внешний медный слой и другие материалы, которые влияют на высоту, толщину и на гибкость. На рис. 4 показана передача перечисленных данных между ECAD и MCAD.



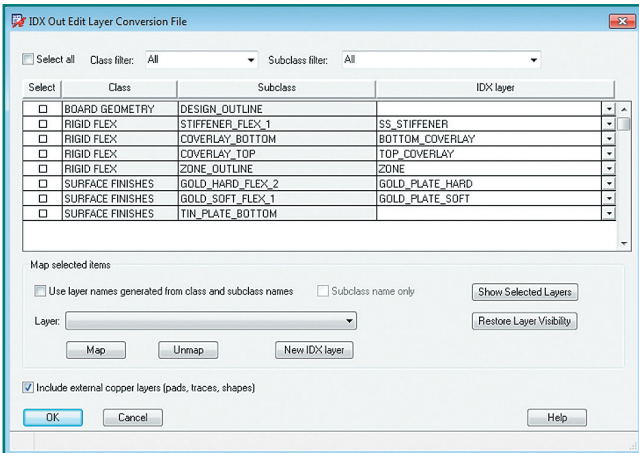


Рис. 4. Передача данных ECAD-MCAD

**Размещение компонентов**

Благодаря новым функциям теперь инструменты систем CAD могут автоматически размещать компоненты при переносе через границу гибко-жесткой подложки. Это полностью исключает длительный и трудоемкий этап перемещения компонентов на правильные поверхностные слои. Но достаточно ли хорош будет полученный результат? В большинстве случаев корпуса компонентов, используемых в гибких частях платы, отличаются от тех, что предусмотрены для жестких областей. Например, стеки контактных площадок для гибких областей удлиняются, чтобы не деформироваться и не отслаиваться в областях изгиба. Поэтому для соответствующей технологической зоны системы CAD должны уметь «заменить» библиотечный элемент, содержащий площадки компонента, другим подходящим библиотечным элементом.

**Соединение элементов**

Выполнение разводки проводников на гибких платах, по сравнению с жесткими, сводится к одному слову: «дуги». Обычно формы элементов, которые располагаются в гибкой зоне, — граница платы, каплевидное соединение площадки и линии или проводники — представляют собой дуги и суженные конусообразные переходы. CAD должен поддерживать функцию групповой трассировки проводников, чтобы размещать элементы типа шин по всей гибкой части, причем не заходя за контур границ платы. Переход между линиями разной ширины также

должен быть постепенным, конусообразным, и все соединения между выводами/переходными отверстиями и линиями должны иметь каплевидную форму, так называемый teardrop, чтобы уменьшить напряжение в паяных соединениях. Улучшения в системах CAD состоят в возможности параллельной трассировки проводников. Однако это стало проблемой при прокладке проводников в виде дуг. Хотя при разработке в конструкцию ППП часто вносятся изменения, добавление дополнительных сигнальных линий к шине не должно требовать от инженера полного удаления разводки при повторной групповой трассировке.

**Новые функции проверки конструкций плат между соседними слоями**

Для современных гибко-жестких конструкций разработчики ППП должны иметь возможность провести полную конструктивную проверку между непроводящими слоями гибко-жестких плат. Такая проверка укорачивает цикл разработки, минимизирует этапы обмена ECAD/MCAD и снижает стоимость конечного продукта. Ошибки должны указываться сразу после их возникновения, следуя методологии итеративного проектирования, которая помогает избежать дополнительных шагов и дорогостоящих повторных сборок. Отображение текущего вида конструируемого изделия позволяет визуализировать сборку по каждой области. Имея верное изображение, разработчики могут выполнять более точную проверку

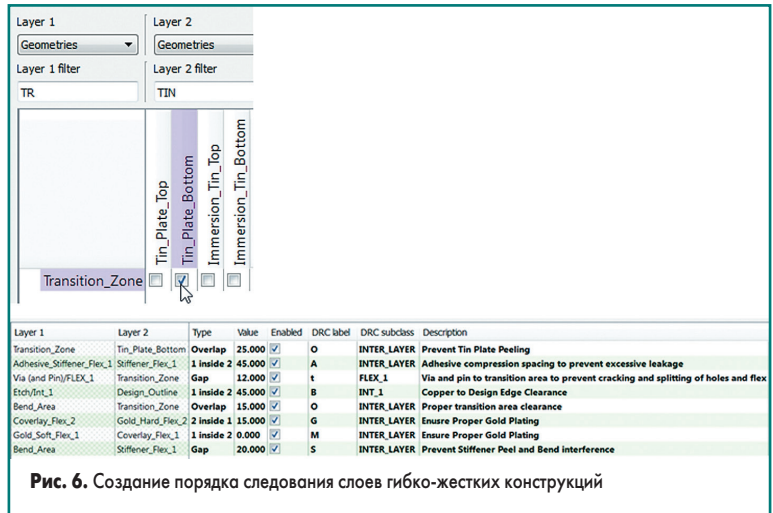


Рис. 6. Создание порядка следования слоев гибко-жестких конструкций

на наличие ошибок и соответствие проектным нормам, получить лучшую обратную связь и передать системе MCAD данные лучшего качества для дальнейшего производства (рис. 5).

Поскольку при производстве используется множество различных материалов и регламентов сборки, которым разработчики ППП должны следовать, то создание правила комбинации слоев должно быть достаточно простым и интуитивно понятным. Процесс (рис. 6) включает несколько этапов:

- выбрать слой, для этого нужно отметить его в матрице слоев;
- выбрать правило;
- задать значение;
- определить метку, которая будет иметь определенное значение для разработчика;
- установить слой, на котором нужно провести проверку на наличие ошибок и соответствие проектным нормам;
- добавить описание для правила комбинации слоев (правило должно быть сохранено в программе).

Пользователю нужна также возможность запуска проверки между слоями в режиме онлайн или офлайн, а также в режиме пакетной обработки. При запуске проверки онлайн необходимо просто установить правило, запустить проверку на соответствие нормам и получить результаты.

Большинство инструментальных средств автоматизированного проектирования EDA уже давно применяются для создания гибко-жестких структур ППП. В идеале последним версиям этих

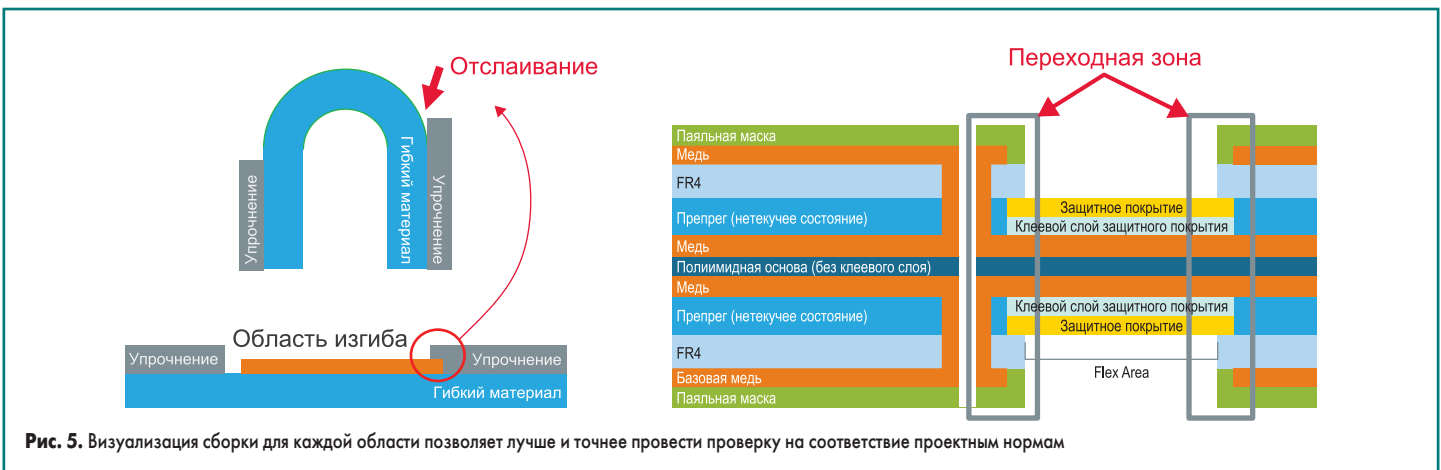


Рис. 5. Визуализация сборки для каждой области позволяет лучше и точнее провести проверку на соответствие проектным нормам

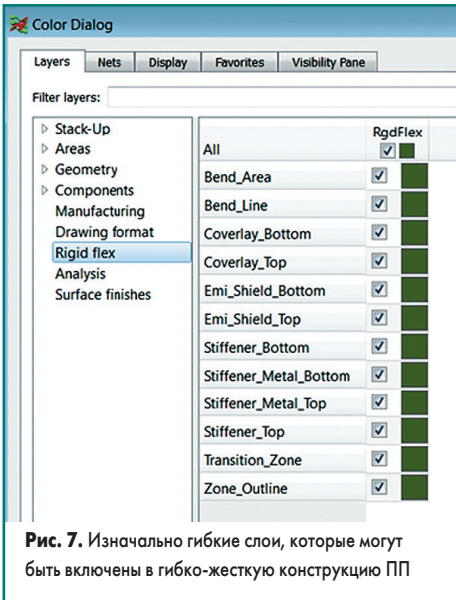


Рис. 7. Изначально гибкие слои, которые могут быть включены в гибко-жесткую конструкцию ПП

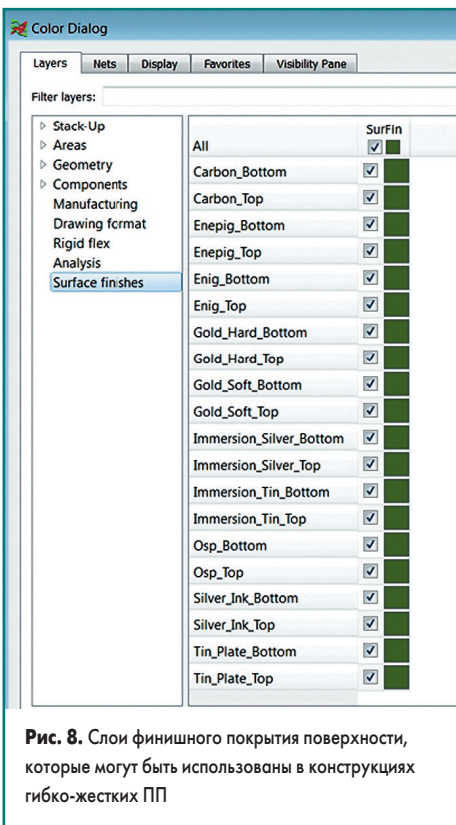


Рис. 8. Слои финишного покрытия поверхности, которые могут быть использованы в конструкциях гибко-жестких ПП

средств необходимо поддерживать и новые задачи для нескольких стеков плат, обеспечивая полную проверку конструкций для трех десятков новых типов гибких слоев и слоев с финишными покрытиями (рис. 7, 8). У специалистов должна быть возможность загружать для проверки собственные слои, не дожидаясь обновления программы. Программа Cadence Allegro 17.2 имеет портфолио, которое содержит различные конструкции ПП и способно провести автоматическую проверку конструкции между слоями гибко-жесткой платы, задействуя все новые возможности, описанные в данном разделе. Можно проверить различные неэлектрические гибкие слои на наличие ошибок и соответствие проектным нормам, при этом программа экономит время и позволяет избежать повторной сборки после исправления недочетов. Кроме того, поддерживается режим групповой работы, так что

Таблица. Данные о ПП от разработчика к производителю. Описание структуры ПП с несколькими областями

Название	Тип	Материал	Основной	Область 1	Область 2	Область 3
			мкм			
Stiffener/Усиление	Mask/Маска	Нержавеющая сталь			200	
Adhesive/Адгезив	Mask/Маска	Термоотверждаемый материал			55	
EMI Shield/Защита от ЭМП	Mask/Маска	EMI Shield/Защита от ЭМП		22		
Soldermask_Top/Паяльная маска сверху	Mask/Маска	LPISM (фотопроявляемая паяльная маска)	25			25
Coverlay_Top/Защитное покрытие сверху	Mask/Маска	Полиимид		12		12
Adhesive/Адгезив	Mask/Маска	Эпоксидная смола		15		15
L1 — Top/L1 — верх	Conductor/Проводник	Медь	27			27
	Dielectric/Диэлектрик	FR4	100			100
L2 — Flex 1	Conductor/Проводник	Медь	16	16	16	16
	Dielectric/Диэлектрик	Полиимид	12	12	12	12
L3 — Flex 2	Conductor/Проводник	Медь	16	16	16	16
	Dielectric/Диэлектрик	FR4	100			100
L4 — Bottom/L4 — низ	Conductor/Проводник	Медь	27			27
Adhesive/Адгезив	Mask/Маска	Эпоксидная смола		15		15
Coverlay_Bot/Защитное покрытие снизу	Mask/Маска	Полиимид		12		12
Soldermask_Bot/Паяльная маска снизу	Mask/Маска	LPISM (фотопроявляемая паяльная маска)	25			25

несколько сотрудников могут одновременно редактировать один и тот же проект.

Если мы посчитаем количество времени, которое удастся сэкономить, применяя новые возможности для разработки гибко-жестких конструкций, по сравнению с проведением ручной проверки на ошибки и соответствие проектным нормам (проходя все этапы вместе с производителем), то увидим, что оно пропорционально сложности самой конструкции и ее разработки. Кроме экономии времени, преимущество состоит и в том, что используется возможность предотвращения появления недоработок, пропусков и подобных недочетов, влияющих на качество конструкции ПП и общую ее стоимость, — ведь решение проблемы, обнаруженной на этапе производства, окажется гораздо дороже и займет намного больше времени из-за необходимости заново провести все этапы разработки.

### Передача данных для производства

У гибко-жестких конструкций передача данных для производственного процесса отличается от других типов ПП. Должны быть четко определены сборки материалов, применяемые в конечном продукте. Для каждой области платы следует четко задать используемые материалы и правильный порядок слоев, определяющий структуру платы. При этом должна быть подходящая документация или форматы данных для производства (таблица). Неверно переданные сведения могут стать причиной дорогостоящих пауз в работе или некорректного функционирования конечного изделия. Такие проблемы необходимо решать при тесном взаимодействии разработчика и производителя.

Разработчикам и производителям необходимо договориться об использовании той или иной сборки в конструкции, если она предполагает управление волновым сопротивлением или представляет собой гибкую/гибко-жесткую структуру, так как это связано с довольно сложным процессом создания и изготов-

ления ПП. Обычно для того, чтобы описать конструкторский замысел, разработчики и их партнеры — производители ПП — используют таблицы, презентации и другие способы передачи информации о технологических ограничениях. Но такие способы занимают достаточно много времени и ненадежны. Чтобы избежать этих проблем и сэкономить время, продвинутые разработчики ПП используют стандарт IPC-2581 для электронного обмена данными по конструкции. IPC-2581 — это открытый формат передачи данных, поддерживающий более 85 конструкций ПП и распространенный во всем мире. Версия В формата IPC-2581 теперь поддерживает двухстороннюю передачу данных, что позволяет избежать возникновения проблем на этапе передачи разработанной конструкции.

### Заключение

Гибко-жесткие конструкции ПП обеспечивают надежное и гибкое решение для изделий различного применения, ограниченных в размере и весе. Однако по мере развития гибких технологий возникает множество задач. Технологии разработки и конструирования ПП, которые отвечают за автоматизацию обнаружения возникающих на гибко-жестких платах ошибок с помощью послышной проверки конструкции, помогают решать данные задачи, позволяя получить качественные продукты в желаемый срок. САПР Cadence Allegro и ее подмножество — весьма недорогая САПР OrCAD — в релизе 17.2 имеют мощный функционал, способный эффективно и качественно решать все вопросы, связанные с проектированием гибко-жестких плат. Для ознакомления с возможностями САПР Cadence все желающие могут скачать бесплатную версию OrCAD Lite, хотя и ограниченную количеством цепей и компонентов, но предлагающую все основные функции полной версии САПР.