

Тестеры Pilot4D V8 для ремонта. Опыт зарубежных специалистов

В условиях развития современных технологий и увеличения стоимости тестирования на смену внутрисхемным тестерам типа «поле контактов» пришли устройства с подвижными пробниками, ставшие полезным дополнением и к функциональному тестированию.

**Игорь Рыков
Вадим Кусков**

info@sovtest.ru

Более того, тестеры с подвижными пробниками (рис. 1) активно используются не только на стадиях разработки и изготовления единичной продукции, но и при крупносерийном многономенклатурном выпуске изделий, поскольку значительно сократилось время создания тестовых программ и увеличилась производительность таких систем.

Лет 10–20 назад вопрос о возможности использования тестера с подвижными пробниками для ремонта электронных модулей прозвучал бы довольно странно, ведь в то время основной технологией автоматического выявления дефектной продукции являлось функциональное тестирование модулей, проводившееся на специализированных стендах. Однако повышенная сложность электронных модулей и прогрессивное развитие технологий тестирования с помощью подвижных пробников в корне изменили концепцию тестирования.

Специалисты современных сервисных центров, занимающиеся ремонтом электроники и имеющие большой опыт использования тестеров с подвижными пробниками, пришли к выводу, что для максимально точной локализации неисправностей смонтированных модулей эти системы должны от-

вечать ряду требований. Дальнейшая информация, представленная в статье, основана исключительно на опыте экспертов мирового уровня.

Итак, каким же требованиям должны соответствовать тестеры с подвижными пробниками для выполнения качественного ремонта современной аппаратуры, включая изделия ответственного назначения (авиакосмического и оборонного применения)?

1. Создание тестовой программы при отсутствии исходных данных из САПР.

При выполнении функционального тестирования достаточно лишь тестовой программы и принципиальной схемы модуля, однако для тестеров с подвижными пробниками этого мало: необходимы данные из САПР, включая список цепей, перечень компонентов, абсолютные координаты электронного модуля и положение тестируемых компонентов. При ремонте электронных модулей нужные данные об образце нередко отсутствуют, а без них создать тестовую программу на системах с подвижными пробниками не удастся.

2. Генерация принципиальной схемы (при отсутствии исходных данных из САПР) для последующего функционального контроля.

Для выполнения качественного ремонта сложных электронных модулей недостаточно только внутрисхемного контроля. Следует задействовать дополнительные инструменты для выполнения различных видов проверок (например, функциональное тестирование). В этом случае требуется вся исходная информация об изделии. При ее отсутствии тестовая система должна иметь возможность воссоздать конструкторскую документацию (принципиальные схемы, перечень компонентов и т. д.).

3. Максимальный доступ к тестовым точкам и/или выводам компонентов.

Тестовая система должна обладать максимально возможным количеством независимо подвижных пробников (оптимально — не менее 8 шт.). Обязательное условие — двусторонний доступ к изделию в формате «4 + 4».

4. Расширенный набор тестовых инструментов. В стандартном режиме тестеры с подвижными пробниками работают как качественный анализатор производственных дефектов и обеспечивают



Рис. 1. Тестер с подвижными пробниками Pilot4D V8

70–80% покрытия тестируемого образца. Поэтому для проведения эффективных ремонтных мероприятий тестеры с подвижными пробниками должны обладать широким набором инструментов, работающих как с подачей питания, так и без него.

5. **Расширенный функциональный контроль.** Во время тестирования с подачей питания на исследуемый образец тестеры с подвижными пробниками должны иметь инструменты для выполнения аналогового, цифрового тестирования, а также периферийного сканирования и внутрисхемного программирования.

6. **Точная локализация неисправностей.** При ремонте смонтированных электронных модулей задача функционального тестирования — удостовериться в работоспособности модуля. Задача подвижных пробников — точно определить дефектную область тестируемого образца, чтобы по результатам проверки наладчик РЭА смог выполнить соответствующие мероприятия по ремонту смонтированного модуля. Поэтому необходима максимально точная локализация неисправностей.

7. **Ремонт модулей с конформным покрытием.** Конформное покрытие электронных модулей затрудняет доступ к тестовым точкам. И хотя процедура снятия такого покрытия с модуля является стандартной, нужно, чтобы тестер с подвижными пробниками мог работать с электронными модулями без предварительного снятия конформного покрытия.

8. **Минимальные временные затраты на генерацию тестовых последовательностей при максимальном тестовом покрытии и производительности системы.**

При тестировании электронных модулей на этапе производства основными критериями считаются производительность, время создания тестовых программ и расходы на тестирование. В ремонте же наиболее значимым показателем является максимальное покрытие дефектов электронного модуля. Система должна обладать возможностью локализации всех вероятных дефектов, а время на подготовку тестовых программ должно быть минимальным.

Среди представленных на российском рынке тестеров с подвижными пробниками система Pilot4D V8 является наиболее эффективной. Данная модель не имеет аналогов, поскольку обеспечивает полноценный двусторонний доступ к исследуемому образцу за счет работы 8 независимых подвижных пробников (максимально возможное количество пробников систем-конкурентов — 6), а широкий

набор тестовых решений выгодно отличает Pilot4D V8 от систем других производителей.

Для того чтобы проверить, в полной ли мере тестер Pilot4D V8 отвечает заявленным требованиям для эффективного ремонта электронных модулей, специалисты компании Seica провели анализ всех функциональных возможностей системы.

Создание тестовой программы при отсутствии исходных данных из САПР

Технология обратного проектирования, реализованная в тестере Pilot4D V8, позволяет выполнять внутрисхемное тестирование образцов даже при отсутствии данных из САПР. С помощью встроенных цифровых камер высокого разрешения система делает снимки тестируемого образца с двух сторон и передает изображения в программную среду VIVA, где специалист размещает элементы тестируемого образца (компоненты, переходные отверстия, контактные площадки), а потом система автоматически генерирует список цепей платы. Полученная информация позволяет в автоматическом режиме создавать тестовые программы для внутрисхемного контроля смонтированных модулей.

Генерация принципиальной схемы (при отсутствии исходных данных из САПР) для последующего функционального контроля

Система Pilot4D V8 содержит набор инструментов, позволяющих передавать полученную информацию о тестируемом образце в любую систему автоматического проектирования, а также создавать конструкторскую документацию электронного модуля (чертежи, принципиальные схемы и пр.). По желанию заказчика эти данные можно использовать для клонирования электронных модулей. Полноценный двусторонний доступ и набор тестовых средств помогают точно воссоздать принципиальную электрическую схему модуля, необходимую для выполнения функционального контроля.

Максимальный доступ к тестовым точкам и/или выводам компонентов

Основная особенность системы Pilot4D V8 — полноценный двусторонний доступ к тестируемому модулю (по 4 пробника с каждой стороны), что обеспечивает максимальное тестовое покрытие образца (покрытие дефектов), особенно если ремонтируемая плата

не содержит специальных тестовых площадок. Прецизионная точность позиционирования пробников позволяет контактировать даже с галтелями компонентов (минимальная область контактирования 50 мкм).

Расширенный набор тестовых инструментов

Система Pilot4D V8 использует современные аппаратно-программные средства для внутрисхемного и функционального контроля, которые позволяют тестеру эффективно выполнять внутрисхемное, функциональное тестирование, а также периферийное сканирование и внутрисхемное программирование с помощью 8 независимых подвижных пробников.

В зависимости от режима функционирования тестер Pilot4D V8 применяет различные методы и технологии контроля электронных модулей (табл. 1).

В таблице 1 представлены основные тестовые технологии, реализованные в системе Pilot4D V8, которые используются в зависимости от того, в каком режиме работает тестер — с подачей питания или без. Некоторые из них уникальны и применяются только на тестерах производства фирмы Seica:

- Технология PWMON позволяет определить области залипания на сложных (смешанных/цифровых) цепях электронных модулей без использования специализированных библиотек тестирования.
- Графическая среда Quicktest для ускоренной подготовки функциональных тестов без использования языков макропрограммирования.
- Бесконтактные методы тестирования применяются дополнительно к внутрисхемному/функциональному и цифровому тестированию, что позволяет точнее локализовать неисправность электронного модуля. К таким методам относится температурный анализ, который выполняется с помощью специальных пробников (расположены с каждой стороны тестируемого образца), выявляющих температурные аномалии на поверхности компонентов, тем самым локализуя перемежающиеся и скрытые дефекты изделия.

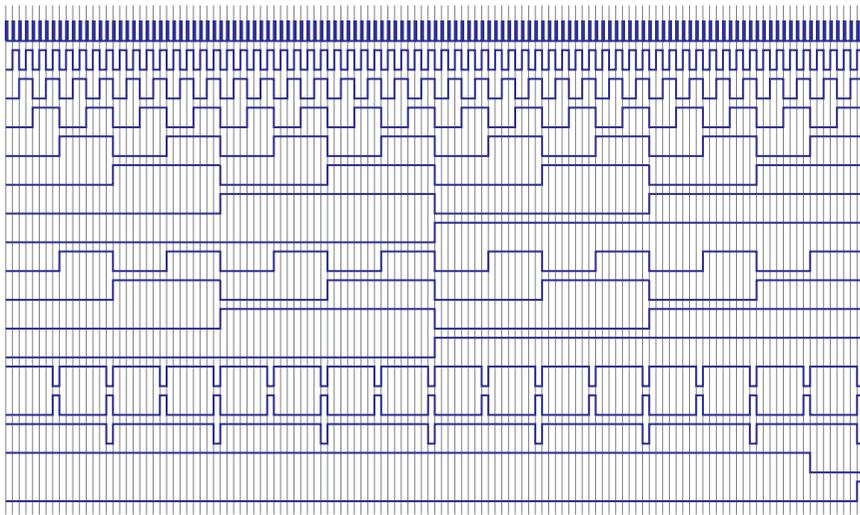
Для снижения риска повреждения компонентов или печатной платы на всех тестерах модели Pilot4D V8 установлены пробники мягкого контактирования (позиционирование на выводах чип-компонентов 01005). Кроме того, в управляющей программе VIVA задается максимальное количество касаний для каждой тестовой точки. При превышении лимита программа автоматически перенаправит пробник на другую точку этой цепи.

Расширенный функциональный контроль

Для выявления явных и даже скрытых дефектов на ремонтируемом электронном модуле в тестовой системе Pilot4D V8 реализованы следующие технологии и инструменты функционального тестирования:

Таблица 1. Методы и технологии контроля электронных модулей, реализованные в Pilot4D V8

Режим без подачи питания	Режим с подачей питания
<ul style="list-style-type: none"> • Анализ производственных дефектов (R, L, C, транзисторы, диоды, реле). • Безвекторное тестирование микросхем (технология OPENFIX, AUTIC). • Оптическая инспекция (AOI). • Метод узловых импедансов (технология FNODE). 	<ul style="list-style-type: none"> • Внутрисхемное тестирование микросхем. • Внутрисхемное программирование цифровых элементов. • Анализ логики изделия (PWMON). • Температурный анализ. • Силовые пробники (до 3 А). • Периферийное сканирование (FLYSCAN). • LED-сканирование. • Лазерная инспекция.
Программная среда QUICKTEST	


Рис. 2. Диаграмма логических уровней микросхемы

- Интерактивная графическая среда QUICK-TEST позволяет оператору создавать простой функциональный тест без знания специализированных макросов (языков макропрограммирования). Достаточно иметь только принципиальную схему изделия. Программа автоматически задействует необходимые тестовые инструменты и обеспечивает коммутацию с требуемыми цепями/сигналами/компонентами. С помощью QUICKTEST можно изменять параметры частотных сигналов, напряжение, ток, генерировать аналоговые и цифровые сигналы.
- При цифровом внутрисхемном контроле микросхемы проверяются на соответствие таблице истинности. Технология DIGIPLEX в автоматическом режиме проверяет логику компонентов, используя имеющуюся библиотеку (свыше 4000 компонентов) (рис. 2).
- Аппаратно-программный ОВП-модуль позволяет системе реализовать внутрисхемное программирование цифровых устройств без подключения дополнительных проводов к тестируемому образцу.
- Опция FLYSCAN реализует периферийное сканирование плат, содержащих один и более компонентов, поддерживающих JTAG-интерфейс. Применение технологии периферийного сканирования посредством FLYSCAN обеспечивает электрический доступ к выводам компонентов, которые физически недостижимы для подвижных пробников. Таким образом, данный метод расширяет тестовое покрытие и гарантирует точную локализацию неисправностей.

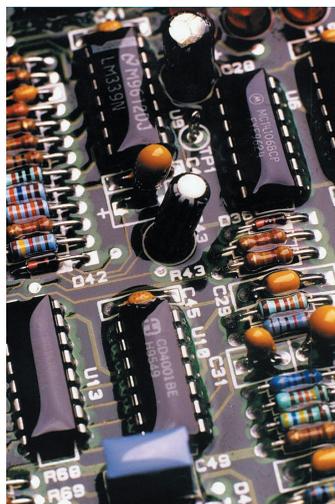
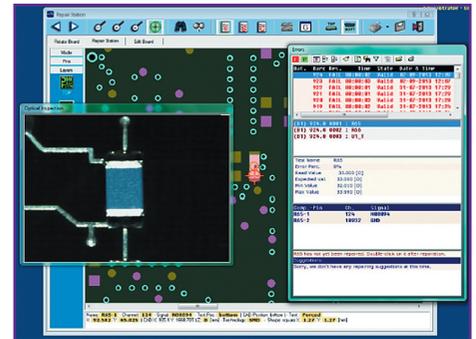
Точная локализация неисправностей

Поскольку система обладает широким набором инструментов, то применение нескольких методов тестирования для проверки одного электронного модуля повышает возможность определить наиболее точное место нахождения неисправности. Дополнительно используется программный инструмент Diagnostic Expert System (DES), который на основе результатов различных тестов показывает наи-

более вероятное место нахождения дефекта (рис. 3). Данное решение успешно применяется на предприятии Foxconn, которое является ведущим мировым производителем и поставщиком электроники для таких компаний, как Canon, Motorola, Apple и Intel.

Ремонт модулей с конформным покрытием

Процедура удаления конформного покрытия с электронного модуля перед началом тестирования не всегда осуществима или экономически выгодна, поэтому специалисты компании Seica разработали специальные пробники, выполняющие тестирование образцов с конформным покрытием (рис. 4). С помощью пробников с наконечниками 75 мкм система Pilot4D V8 может работать со следующими видами конформных покрытий: акриловыми 1B73 (толщиной 25 и 50 мкм), полиуретановыми 1A33 (толщиной 25 и 50 мкм), ITW Spraytec Jelt Tropicoat 7361, CRC Industries KF1280, DCA 200H "Vernis transparent" MIL-I-46058C, HUMISEAL 1B73, CRC Industries DATV2, CRC Industries Electrofuge 200.


Рис. 4. Фрагмент изделия с конформным покрытием

Рис. 3. Локализация неисправных компонентов с помощью инструмента DES

Минимальные временные затраты на генерацию тестовых последовательностей при максимальном тестовом покрытии и производительности Pilot4D V8

Обратное проектирование, инструменты автоматической отладки и функциональные возможности программной среды QUICKTEST, реализованные в системе Pilot4D V8, помогли значительно сократить время создания тестовых программ и упростить их.

Высокая производительность системы Pilot4D V8 достигается за счет полноценного двустороннего доступа к тестируемому образцу (8 независимых подвижных пробников) и метода узловых импедансов (сокращение тестов на обнаружение короткого замыкания).

Кроме того, широкий набор тестовых инструментов обеспечивает высокую степень покрытия возможных неисправностей (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, короткое замыкание, обрывы цепей, а также дискретные компоненты одинаково хорошо проверяются как с помощью внутрисхемных тестеров типа «поле контактов», так и с помощью тестеров с подвижными пробниками.

Однако необходимо учитывать, что при высокой плотности монтажа модуля затруднен доступ к тестовым точкам. В этом случае тестеры с подвижными пробниками — единственное решение, предоставляющее практически 100%-ное тестовое покрытие ремонтируемого изделия.

Емкостные датчики тестера с подвижными пробниками позволяют определять обрыв цепей между компонентами одной интегральной схемы, которые может пропустить внутрисхемный тестер типа «поле контактов».

По сравнению с подвижными пробниками внутрисхемный тестер типа «поле контактов» больше подходит для работы с устройствами SSI/MSI (малой и средней степени интеграции — менее 500 компонентов) за счет полного доступа к тестируемому образцу. Однако благодаря технологии PWMON тестеры с подвижными пробниками предпочтительны для контроля устройств с корпусами FPGA (ПЛИС) и ASICs (специализированная интегральная схема), в тех случаях когда использование внутрисхемного тестера типа «поле контактов» при отсутствии библиотеки тестирования не представляется возможным.

Таблица 2. Сравнительный анализ возможностей внутрисхемного тестера типа «поле контактов» и тестера с подвижными пробниками при выявлении неисправностей изделий (при условии реализации 100%-го доступа к изделию)

Неисправности	Тестовые технологии	Внутрисхемный тестер типа «поле контактов»	Тестер с подвижными пробниками
Короткое замыкание, обрыв	Резистивный метод и метод узловых импедансов	до 100%	100%
Дискретные компоненты	Внутрисхемное тестирование	100%	100%
Припаянность выводов	Технология OPENFIX	70–100%	100%
Механические повреждения	Оптическая, лазерная инспекция, температурный анализ	не доступны	>80%
Неисправные аналоговые устройства	Функциональный контроль с подачей питания	100%	100%
Залипание (SSI/MSI)	Принудительная установка в 0/1	100%	60–80%
Залипание (VLSI, FPGA)	Принудительная установка в 0/1	отсутствие библиотеки	40–60%
Залипание (JTAG)	Периферийное сканирование	100%	100%
Неисправности аналогового устройства	Тестирование ввода/вывода	Хорошо	Отлично
Неисправности цифрового устройства	Тестирование ввода/вывода, самотестирование	Неудовлетворительно	Отлично

Наконец, функциональный контроль с помощью тестера с подвижными пробниками более эффективен, поскольку в отличие от внутрисхемного тестера типа «поле контактов» не нужно приобретать дорогостоящую двухуровневую тестовую плату «поле контактов».

Проведенный анализ функциональных возможностей системы Pilot4D V8 (SEICA SpA, Италия) показал, что она полностью отвечает требованиям, которые предъявляют сервисные компании к подобному оборудованию. Поэтому тестер Pilot4D V8 является оптимальным решением как для контроля качества выпускаемой продукции, так и для выявления дефектной продукции при ремонте электронных модулей.

Среди зарубежных клиентов фирмы Seica есть и те, кто применяет систему Pilot4D V8 исключительно для ремонта смонтированных модулей (рис. 5). Некоторые из них, в полной мере оценив возможности тестера, используют на своем производстве несколько таких систем (например, Foxconn) или заменили ими действовавшее ранее подобное оборудование других производителей, что еще раз подтверждает эффективность данного решения в области ремонта электроники.

Но насколько эффективен тестер Pilot4D V8 в ремонте? По ряду причин информации о применении данного оборудования в этой сфере недостаточно. Во-первых, большая часть сервисных центров принадлежит оборонным предприятиям или их международным поставщикам, а потому они не имеют права разглашать сведения о своей работе. Во-вторых, количество однотипных плат, которые тестируются за определенный промежуток времени (скажем, за год), невелико, часто лишь несколько единиц, в связи с чем

невозможно получить статистические данные из такого количества образцов. В-третьих, даже если эти данные доступны, их необходимо правильно интерпретировать.

Сколько однотипных плат было протестировано? Являются ли они неисправными или неисправности не обнаружены? Эффективны ли мероприятия по устранению неисправностей? На какой стадии применялся тестер с подвижными пробниками? Какие тестовые методы при этом использовались?

Для того чтобы ответить на эти вопросы и получить достоверные данные, необходимо действовать по следующему сценарию:

- тестирование достаточного количества ПП одного типа (например, несколько сотен) за определенный промежуток времени;
- изначальное подтверждение неисправности ПП при ее установке в РЭА или на стадии функционального тестирования;
- последующее тестирование плат в системе Pilot4D V8 для определения процента подтвержденных неисправных образцов;
- диагностика и ремонт неисправных плат;
- повторная проверка работоспособности отремонтированных плат в составе РЭА или с помощью функционального тестера для подтверждения их исправности. На данном этапе можно получить достоверные данные и сделать заключение о достаточном покрытии возможных неисправностей, а также об эффективности их диагностики с помощью тестера Pilot4D V8.

На самом деле такой подход трудно реализовать, поэтому специалисты компании Seica подготовили отчет об эффективности использования Pilot4D V8 в ремонте на основе других качественных данных.

Так, во время ежегодного дня открытых дверей вниманию посетителей были представлены отзывы клиентов компании Seica. Нужно отметить, что для каждого заказчика уровень удовлетворенности данным оборудованием зависит от различных показателей. Важно то, что применение тестера Pilot4D V8 в ремонте не исключение. Многие клиенты, в полной мере оценив его возможности, дополнительно установили на своем производстве еще несколько единиц Pilot4D V8 (например, в компании Foxconn установлено шесть Pilot4D V8), что, несомненно, является показателем качества и успешной работы системы Pilot4D V8.

Отзыв компании Airbus Defence & Space

«Поскольку мы работаем с нестандартными изделиями, в том числе со спутниковыми платами, основными требованиями для нас являются максимальная точность контактирования пробников с тестовыми площадками и высокая повторяемость позиционирования (рис. 6), а также минимизация повреждений изделия в местах контактирования с тестируемым образцом».



Рис. 6. Повторяемость позиционирования пробников Pilot4D V8 в сравнении с другими тестерами с подвижными пробниками

Отзыв сервисного центра Thales Avionics

«Для тестирования отозванных плат, предназначенных для авиационной промышленности, в своем центре мы установили систему Pilot4D M4. На графике (рис. 7) приведена статистика выявления неисправностей электронных модулей при их проверке различными методами тестирования: с подачей питания и без. Изначально мы использовали данное оборудование для тестирования и ремонта смонтированных модулей, дефекты которых не были локализованы при функциональном контроле. Так, тестер Pilot4D M4 помог выполнить успешный ремонт 70% всех поступивших плат. Недавно в систему добавлена опция периферийного сканирования FLYSCAN, что позволило значительно улучшить этот результат».

Отзыв компании Dassault Aviation

«Специалисты компании решили сравнить систему, которая уже использовалась на нашем производстве (внутрисхемный тестер типа «поле контактов»), с тестером с подвижными пробниками Pilot4D V8, недавно приобретенным с целью сократить расходы



Рис. 5. Компании, применяющие тестеры Pilot4D V8 для ремонта электронных модулей

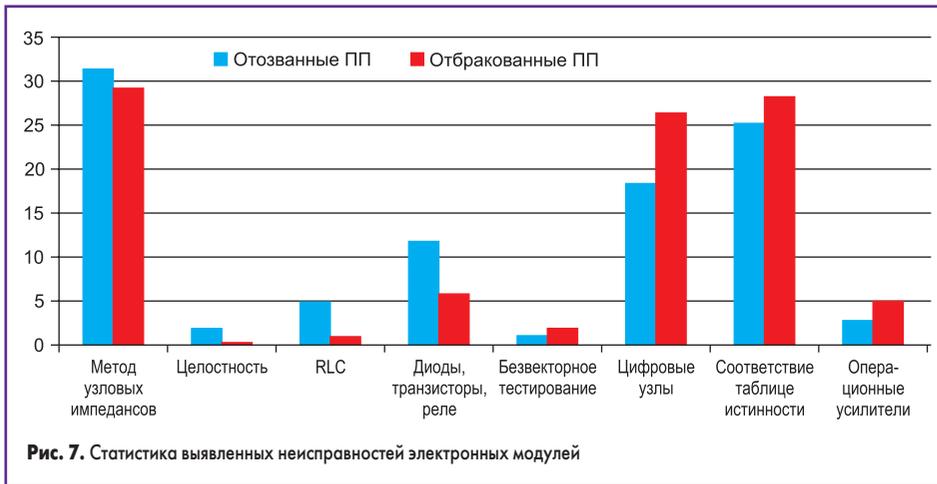

Рис. 7. Статистика выявленных неисправностей электронных модулей

Таблица 3. Сравнительное время тестирования с помощью систем с подвижными пробниками и «поле контактов»

Система	Тестер с подвижными пробниками Pilot4D V8		Внутрисхемный тестер типа «поле контактов»		
	Создание тестовой программы	Выполнение тестирования	Создание тестовой программы	Выполнение тестирования	
Время	26 ч	Внутрисхемное тестирование	Около 6 недель	Внутрисхемное тестирование	
		Программирование Flash и FPGA через JTAG		Программирование Flash и FPGA через JTAG	
		9 мин	9 мин 10 с	4 мин 30 с	3 мин 15 с

PILOT V84D

- ремонт плат с конформным покрытием и без данных САПР
- обратное проектирование
- клонирование электронных модулей

Рис. 8. Пример использования тестеров Pilot4D V8 в рамках технологии обратного проектирования

на тестирование. Результаты показали, что система с подвижными пробниками имеет существенные преимущества не только

с точки зрения затраченного времени на создание тестовой программы (табл. 3). Самое важное — покрытие возможных неисправ-

ностей тестера с подвижными пробниками гораздо выше, чем у внутрисхемного тестера типа «поле контактов».

Отзыв сервисного центра компании Alcatel-Lucent

«Количество поступающих к нам на ремонт изделий достаточно высокое. Кроме того, электронные модули присылают различные фирмы-производители со всего мира, поэтому зачастую мы просто не располагаем данными САПР для всех образцов. Чтобы произвести ремонт смонтированных модулей, нам необходимо получить эти данные, для чего мы применяем метод обратного проектирования. Раньше мы использовали оборудование, на котором испытания плат проводились вручную: создавалась тестовая программа, электронные модули проверялись, затем проводились ремонтные мероприятия и изделия отправлялись обратно к заказчику без выполнения окончательного функционального тестирования. При таком подходе количество отозванных изделий, отремонтированных вручную в нашем центре или в субподрядных организациях, составляло 30%. После установки тестера Pilot4D V8 количество возвратов снизилось до 10%».

Отзыв крупного центра по ремонту оборонной авиатехники во Франции

«Наша организация приобрела систему Pilot4D V8 для ремонта специальных изделий, где обратное проектирование используется при создании не только тестовой программы для контроля печатных плат, но и конструкторской документации и клонировании электронных модулей для пополнения склада запасных частей (рис. 8). С поставленными задачами система справляется на все 100%».

Таким образом, можно с уверенностью говорить об уникальности системы Pilot4D V8. Проведенные исследования ее функциональных возможностей показали, что данная модель является наиболее эффективной не только при разработке и выпуске продукции, но и при ремонте радиоэлектронных изделий.