

# ВНУТРИСХЕМНЫЙ КОНТРОЛЬ

ЖИВ И БУДЕТ ЖИТЬ

Э.Рувинова

**В обеспечении качества современных печатных узлов высокой плотности монтажа и сложности, содержащих СБИС самого различного типа, по-прежнему ведущую роль играет электрический внутрисхемный контроль. Непрерывное совершенствование методов и средств внутрисхемного контроля приводит к его высокой экономической эффективности.**

Как известно, достижения электроники 90-х годов привели к созданию разнообразной интеллектуальной продукции, сердцевину которой составляют сложные печатные узлы (ПУ) высокой плотности монтажа. В соответствии с законами рынка производители ПУ стремятся постоянно повышать их качество при неизменном снижении стоимости, даже если растет цена компонентов ПУ и программного обеспечения. Не меньшие трудности связаны со стремительным сокращением жизненных циклов продукции. Так что можно смело утверждать, что и в новом столетии изготовители должны будут обеспечивать высокое качество ПУ при низкой стоимости в жестком временном графике производства.

В таких условиях критическую роль играет контроль качества изделий. Существенная превентивная информация при производственном контроле позволяет улучшить технологический процесс, а функциональный контроль обеспечивает информацию, подтверждающую правильность функционирования продукции. Однако ограниченный электрический доступ к контрольным точкам ПУ с высокой плотностью монтажа и миниатюрными компонентами создает серьезные проблемы в традиционных методиках контроля ПУ. И хотя оптические и рентгеновские методы способны восполнить нехватку тестового покрытия, а финальный функциональный контроль позволяет принимать окончательное решение о годности изделия, старый и всеми уважаемый внутрисхемный тестер по-прежнему остается составной частью контрольного процесса.

## ВНУТРИСХЕМНЫЙ КОНТРОЛЬ СЕГОДНЯ

В общем виде концепция “внутрисхемного тестера” предусматривает использование контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) и контактирующего приспособления для физического доступа к контрольным точкам ПУ. В традиционном внутрисхемном тестере матрица подпружиненных контактирующих штифтов, или контактрон (К), осуществляет параллельный электрический контакт со всеми этими точками. Во многих современных моделях тестеров вместо К используются роботизированные (управляемые) зонды, которые последовательно зондируют контрольные точки. И до сих пор, несмотря на то, что ПУ стали многослойными печатными платами

(ПП) с двусторонним поверхностным монтажом, содержащими компоненты с BGA, внутрисхемный тестер необходим!

Эффективность электрического внутрисхемного контроля складывается уже на стадии проектирования изделия при совместной деятельности проектировщиков и инженеров по контролю. Проектировщики осознают необходимость в прямом электрическом доступе к максимально возможному числу контрольных точек, а инженеры по контролю понимают, что в целях экономичности нельзя жертвовать значительной частью ПП ради возможного доступа тестового зонда. Поиск компромисса здесь может простирается от простого решения до сложного. При простом решении проектировщик утолщает относительно надежные детали, например пассивные компоненты, и в то же время сохраняет прямой электрический доступ к непрочным компонентам, таким как системы на чипе со смешанными сигналами (аналоговыми и цифровыми) высокой плотности упаковки. Сложное решение допускает использование компонентов, совместимых с периферийным сканированием, что дает тестеру виртуальный доступ к входным/выходным выводам в отсутствие физического доступа.

Внутрисхемный контроль охватывает различные методы, обнаруживающие электрические дефекты и определяющие их местоположение. Аналоговый внутрисхемный контроль позволяет измерять сопротивление, емкость или индуктивность в приборах, определять короткое замыкание между узловыми точками схемы, проверять ориентацию и функционирование диодов и транзисторов. Цифровые методы внутрисхемного контроля обеспечивают принудительную установку уровня сигнала на входах приборов для проверки правильности их работы по отклику. Дополнительные программные и аппаратные средства помогают цифровому контролю провести периферийное сканирование. Кроме того, процесс внутрисхемного контроля включает тестирование запитанных ПУ с аналоговыми и смешанными сигналами, а также безвекторный тест, который использует аналоговые характеристики прибора для электрической проверки паяных соединений на сложных ИС.

Внутрисхемный контроль был и остается доминирующим методом в тестировании ПУ. Он обеспечивает диагностирование на уровне компонента, что заметно снижает стоимость ремонта – достаточно заменить дефектную деталь. Другое важное свойство внутрисхемного контроля – автоматическая генерация тестовых данных. При этом потребитель может оптимизировать процесс генерации тестов, чтобы достичь компромисса между покрытием неисправностей, скоростью теста и сложностью контактирующего приспособления.

Однако развитие технологии поверхностного монтажа обуславливает серьезные проблемы, с которыми сталкиваются специалисты по внутрисхемному контролю. Размеры компонентов, как и пло-



щадь тестовых контактов, продолжают уменьшаться. Тенденция к повышению быстродействия вызывает постоянное сокращение пространства внутри прибора. В результате доступ к контрольным точкам стал ниже 100%, из-за чего может снизиться тестовое покрытие, причем со скоростью, большей, чем скорость потери доступа.

Недавним решением ряда подобных проблем и явился тестер с управляемыми зондами, пригодный для контроля ПУ в мелкосерийном и опытно-производстве. Вместо традиционного К новый тестер использует от четырех до восьми независимо управляемых зондов, которые одновременно движутся над верхней поверхностью контролируемого ПУ. Сам ПУ перемещается в тестер на транспортере. При его удержании на месте зонды контактируют с контрольными точками и вертикальными переключками. Зонды подсоединяются через систему мультиплексирования к драйверам (генераторам сигналов, источникам питания и т.д.) и датчикам (цифровым мультиметрам, частотомерам и т.д.). Такой тестер может проверять разрывы, короткие замыкания и параметры компонентов. В нем используется также видеочка, помогающая в установлении пропусков компонентов и определении их формы.

Программирование тестеров с управляемыми зондами осуществляется проще и быстрее, чем традиционных тестеров. Как правило, разработчик теста преобразует данные САПР в соответствующий файл, который затем прогоняется через тестовую программу. Время, необходимое для разработки теста типичного ПУ с 1000 контрольными точками, составляет от четырех до шести часов. Процесс отладки программного обеспечения, необходимый для получения наилучшего тестового покрытия, для того же ПУ может занять 6–8 ч. Для сравнения, разработка программы и К для обычного тестера может потребовать 160 ч, а отладка – 16–40 ч.

Серьезное преимущество нового тестера – управляемый зонд имеет доступ к ПУ с большей плотностью монтажа, чем тестер с К. Зонд также обеспечивает большее тестовое покрытие. Зонды могут контактировать не только с контрольными точками, но и с выводами компонентов, соединителями, переключками. Благодаря гибкости в обеспечении контроля часто изменяющихся изделий и быстрой обратной связи с проектировщиками тестер с управляемым зондом – безусловно экономически эффективное средство проведения внутрисхемного контроля.

Однако и новый тестер не лишен недостатков. Поскольку он физически зондирует пайку в переключках и контактных площадках, в припое могут возникать небольшие углубления. Площадь ПП для него ограничена размерами порядка 600х600 мм. Кроме того, велико и время контроля – там, где тестеру с К для контроля ПУ достаточно 30 с, тестер с управляемым зондом может потребовать 6–10 мин. Соответственно снижена производительность, а из-за наличия движущихся частей – и наработка на отказ.

Спектр систем внутрисхемного контроля очень широк – как по разнообразию контактирующих приспособлений, так и по уровню возможностей (табл.1). Сюда относятся анализаторы производственных дефектов, "внимание" которых сконцентрировано на проверке целостности паяных соединений в ПУ. Они в основном работают с незапитанным контролируемым устройством и осуществляют поиск разрывов (указывая пропущенные компоненты или неадекватный припой) или коротких замыканий (указывая мосты припоя между выводами), но они не оценивают электрические параметры отдельных компонентов.

Некоторым анализаторам, как, например, анализатору фирмы CheckSum, добавлена возможность функционального контроля запитанного ПУ. Полностью запрограммированные в постоянном ЗУ

внутрисхемные тестеры проверяют целостность соединений, а также функционирование отдельных компонентов; они включают библиотеку программ допустимых параметров прибора, относительно которых сравнивают результаты контроля. Такие системы прикладывают цифровые комбинации (векторы), полученные из проектных данных, к отдельному логическому прибору и затем контролируют его отклик. Так, система 3070 фирмы Agilent Technologies способна генерировать до 20 млн. комбинаций в секунду. Подобные тестеры также обеспечивают различные логические уровни для снабжения ими контролируемого ПУ – система TestStation фирмы GenRad может оперировать 26 логическими уровнями.

Тестер, осуществляющий внутрисхемный функциональный контроль, в основном содержит выходные цифровые комбинации, которые логический компонент должен послать в ответ на входной вектор. Но даже если отклик прибора не включен в библиотеку тестера, он все же может оценить, функционирует ли компонент, используя так называемый безвекторный контроль. Так, безвектор-

**Таблица 1. Основные современные системы внутрисхемного контроля ПУ**

Система	Особенности системы	Изготовитель
System 8	Диагностирующий внутрисхемный тестер с 64 цифровыми и 24 аналоговыми каналами	ABI Electronics (Великобритания)
3070 Series	Система внутрисхемного аналогового и цифрового контроля с контактронам на 5200 выводов. Логические уровни программируются на базе каждого контакта	Agilent Technologies (США)
TR8 Series	Анализатор технологических дефектов, содержащий контактрон с числом выводов до 8000. Возможности функционального контроля	Checksum (США)
AutoPoint II	Зондовая система с одним управляемым зондом для ПП площадью 600х600 мм	DiagnoSYS
PinPoint II	Диагностирующий внутрисхемный тестер, обеспечивающий 336 контактных выводов для цифрового и аналогового контроля	Systems (США)
Series 2040	Система внутрисхемного контроля с возможностями аналогового функционального тестирования	Dialog Systems (США)
TestStation	Система внутрисхемного контроля, обеспечивающая 26 логических уровней. Возможности аналогового функционального тестирования. Контактных выводов – до 7680	GenRad (США)
Pilot LX	Зондовая система с четырьмя управляемыми зондами для ПП площадью 610х610 мм	
HM6001	Анализатор технологических дефектов с 600 контактными выводами	Hameg Instruments (США)
ProTrack III	Зондовая система для ПП площадью 560х490 мм. Для использования с внешними контрольно-измерительными приборами	Huntron (США)
4200 Series	Система внутрисхемного аналогового и цифрового контроля, 2048 контактных выводов	IFR (Великобритания)
MTS-100	Система внутрисхемного аналогового и цифрового контроля, 640 контактных выводов	ManTech Test Systems (США)
Master 9001DT	Анализатор технологических дефектов, обеспечивающий 2048 контактных выводов. Возможности аналогового контроля полупроводникового перехода	Qualetron Systems (США)
TSA	Настольная система внутрисхемного аналогового и цифрового контроля для мелкосерийного производства	Rohde & Schwarz (США)
Spectrum 8800 Series	Система внутрисхемного аналогового и цифрового контроля с числом контактных выводов 5120	Teradyne (США)
Javelin 1004	Зондовая система с четырьмя управляемыми зондами	
400 Series	Анализатор технологических дефектов и внутрисхемный тестер с 3840 контактными выводами	Testronics (США)
PL-5000	Система внутрисхемного аналогового и цифрового диагностирования с 48 контактными выводами	Ultra Test International
MTS 300	Система внутрисхемного аналогового и цифрового контроля с 3456 контактными выводами	US Digital
MTS 500	Зондовая система аналогового и цифрового контроля с четырьмя управляемыми зондами	Test (США)

ный контроль дает возможность тестеру с управляемым зондом фирмы Teradyne оценить работу чипа.

Но все эти методы хороши, только когда контрольные точки пригодны для контактирования. Для других ПУ увеличивается значение периферийного сканирования, и многие производители внутрисхемных тестеров встраивают его функции в свою аппаратуру. В результате появляется комбинация традиционного контроля с прямым электрическим контактом и виртуального контроля, обеспечиваемого периферийным сканированием.

**ПРИМЕРЫ СИСТЕМ ВНУТРИСХЕМНОГО КОНТРОЛЯ**

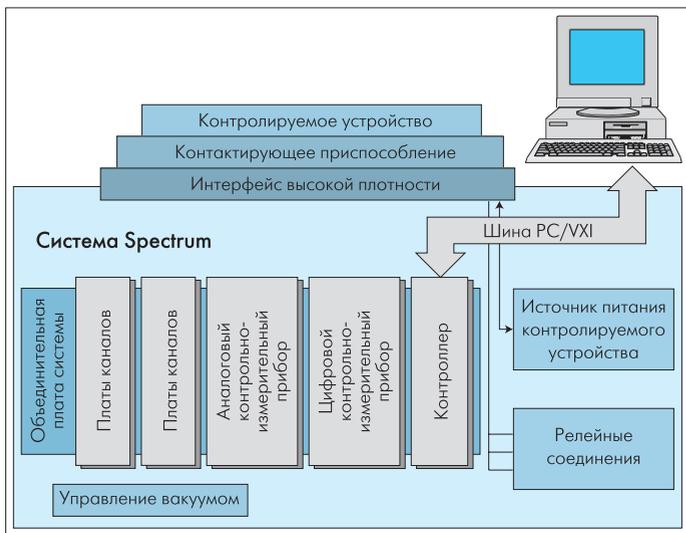
**Открытая система Spectrum 8800 Series фирмы Teradyne.** Эта система (рис.1) – первая в мире платформа производственного контроля открытой архитектуры. Основана на распространенных промышленных стандартах VXI, PC, Windows NT и LabWindows/CVI, благодаря чему обеспечивает контроль с наименьшей стоимостью и наивысшей гибкостью. Система экономически эффективно удовлетворяет требованиям контроля широкого спектра изделий, включая объединительные платы персональных компьютеров, а также телекоммунационных, сетевых, и автомобильных электронных устройств.



**Рис.1. Открытая система производственного контроля Spectrum 8800 Series фирмы Teradyne**

Система обеспечивает покрытие неисправностей на ПУ с поверхностным монтажом почти 100%; точное диагностирование производственных неисправностей, способствуя повышению выхода годных; контроль аналоговых, цифровых и смешанных устройств; разработку программы контроля опытных образцов изделий в течение не более четырех часов; разработку программы производственного контроля за три дня; создание контактрона за три дня. Производительность системы соответствует такту выпуска изделий 10–15 с; наработка на отказ 5000 ч. Капитальные и эксплуатационные расходы – низкие.

Открытая модульная архитектура (рис.2) позволяет согласовать требуемое покрытие неисправностей со сложностью изделия и расширить возможности методики.



**Рис.2. Архитектура системы Spectrum 8800 Series**

**Таблица 2. Некоторые характеристики моделей Spectrum 8800 Series**

Характеристика	8851	8852	8855
Гнезда в объединительной плате	До 10 плат каналов или приборов VXI	До 20 плат каналов или приборов VXI	До 40 плат каналов или приборов VXI
Габаритные размеры, см	104x81x83	127x107x83	168x107x83
Масса, кг	227	330	432

Система Spectrum 8800 Series выполняется в трех моделях: 8851 (до 1280 каналов), 8852 (до 2560 каналов) и 8855 (до 5120 каналов) – табл.2. Головная объединительная плата каждой модели обеспечивает ее расширение до максимального числа каналов. Интерфейс с вакуумным контактроном упрощает конструкцию К и улучшает его работу. Четырехквadrантный интерфейс принимает К с 1280, 2560 и 5120 штырями.

Аналоговый модуль PRISM обрабатывает аналоговые устройства, входящие, например, в современные портативные приборы. Он обеспечивает полный аналоговый режим при внутрисхемном и функциональном тестировании устройств со смешанными сигналами, в том числе полностью программируемые стимулы тока и напряжения и измерения. Осуществляет до 250 аналоговых тестов в секунду.

Стандартный для всех моделей Spectrum 8800 Series векторный процессор – VXI-измерительный модуль с высокими параметрами – выполняет полное векторное тестирование ИС средней, большой и сверхбольшой степени интеграции, а также периферийное сканирование и программирование энергонезависимого ЗУ. Программное обеспечение системы VICTORY позволяет разработать периферийное сканирование.

Оба модуля – аналоговый и цифровой – совместно используются для контроля устройств со смешанными сигналами, таких как АЦП, ЦАП и кодек.

В современных ПУ все чаще применяются средства встроенного контроля, и система Spectrum 8800 Series может непосредственно подсоединяться к ним.

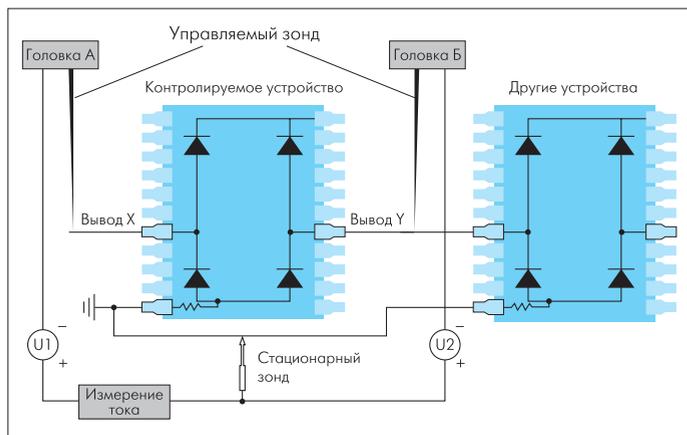
Все этапы разработки – преобразование данных САПР, анализ контролепригодности, генерация программы и конструирование К – выполняются с помощью одних интегрированных программных средств. Это минимизирует время разработки К, обеспечивает быструю отладку и проверку программы и создает стабильную, надежную тестовую программу.

**Система Javelin 1004 с роботизированными зондами фирмы Teradyne.** Внутрисхемный тестер для ПУ с поверхностным монтажом Javelin 1004 (рис.3) вместо К использует четыре управляемых зонда одной длины. Независимое движение зондов происходит в одной плоскости, что повышает точность их позиционирования и воспроизводимость результатов. Движение зондов к любому месту на ПП означает, что тест может быть оптимизирован без механических ограничений, в результате чего повышается производительность. Автоматический конвейер оптимизирует передвижение ПУ через тестер. Время измерения – меньше 50 мс на один этап теста.



**Рис.3. Внутрисхемный зондовый тестер Javelin 1004 фирмы Teradyne**

Благодаря отсутствию К Javelin 1004 удовлетворяет условиям мелкосерийного производства и производства крупных ПУ. Быстрая



**Рис.4. Безвекторный контроль**

адаптация к новым условиям контроля и новой конфигурации ПП составляет одно из наиболее важных свойств системы. Малое время программирования, гибкость и простота установки делают ее подходящим прибором для контроля опытных образцов. Простота программирования позволяет преобразовывать данные САПР о ПУ в тестовую программу за один-два дня.

Модули так называемого безвекторного контроля (рис.4) расширяют покрытие неисправностей для любой ИС, в том числе с BGA и теплоотводами, а также соединителей.

Система технического зрения с видеокамерой автоматически проверяет присутствие и ориентацию ИС.

**Система внутрисхемного контроля TestStation 12X фирмы GenRad\***. Эта усовершенствованная система семейства



**Рис.5. Система производственного контроля TS 12X фирмы GenRad**

TestStation (рис.5) удовлетворяет современным требованиям к контролю крупных, сложных и тяжелых ПУ. Выполняет все функции контроля ПУ семейства, в том числе определение разрывов и коротких замыканий, безвекторный контроль, контроль дискретных аналоговых компонентов, цифровой векторный контроль, периферийное сканирование при сокращенном доступе, контроль компонентов

со смешанными сигналами, функциональный контроль в современных производственных условиях.

Число контактов приспособления можно расширять с 256 до 7680, что отвечает условиям монтажа сложных приборов высокой степени упаковки. Тестер обладает высоким покрытием неисправностей, точным их диагностированием, высокой производительностью.

Аналоговая и цифровая подсистемы синхронизированы. Аналоговая подсистема обеспечивает измерение напряжения от 0 до +200 В, тока от 0 до +160 мА, содержит модуль с программируемой частотой от 15 Гц до 100 кГц, высоковольтный источник питания. Цифровая подсистема характеризуется 26 программируемыми запускающими уровнями от +5,5 до -2,5 В, автоматической верификацией управления на каждом контакте.

\*В августе 2001 г. фирма Teradyne сообщила о планах приобретения фирмы GenRad к концу 2001 г. Покупка приведет к слиянию двух старейших производителей автоматизированных тестеров.

Система TestStation 12X имеет следующие основные технические характеристики:

Зонды .....	четыре наверху, стационарный зонд под ПУ
Скорость измерения .....	до 20 тестов в секунду
Минимальное разрешение позиционирования .....	10 мкм
Повторяемость позиционирования .....	$\pm 10$ мкм
Минимальный шаг зонда .....	0,2 мм
Ход зонда .....	6–30 мм в зависимости от программы
Диапазон измерений:	
резисторов .....	4 Ом–40 МОм, 10 мОм–100 Ом
конденсаторов .....	10 пФ–400 мФ
катушек индуктивности .....	10 мкГн–400 Гн
коротких замыканий/разрывов .....	5 Ом–4 МОм
Максимальные размеры	
контролируемой ПП .....	600x510 мм
Толщина платы .....	0,8–3,2 мм
Высота компонента	
на верхней стороне ПП .....	30 мм
на нижней стороне ПП .....	100 мм
Электропитание .....	200–240 В переменного тока
Габариты .....	1690x1430x1670 мм
Масса .....	1100 кг

**Зондовая система Pilot LX фирмы GenRad.** Новая система производственного контроля без К (рис.6) предназначена для гиб-



**Рис.6. Зондовая система производственного контроля Pilot LX фирмы GenRad**

кого, полного и экономически эффективного тестирования крупных ПУ с ограниченным доступом малых серий, а также опытных образцов. Содержит четыре управляемых зонда для верхней стороны ПУ и шесть фиксированных зондов для нижней стороны. Подсистема технического зрения имеет две камеры, одна из которых проводит оптический контроль и оцифровку ПП, а вторая используется во время разработки теста, наладки и производства. Система способна проводить периферийное сканирование, цифровой и безвекторный контроль ИС. Новые программные средства фирмы GenRad, примененные в системе, позволяют быстро преобразовывать данные САПР в тестовую программу, автоматически и быстро помещать зонд в требуемую точку.

Система Pilot LX имеет следующие основные технические характеристики:

Разрешение позиционирования зондов по X и Y .....	2,5 мкм
Максимальные размеры контролируемой ПП .....	610x610 мм
Максимальная толщина контролируемой ПП .....	5 мм
Максимальная высота компонентов	
на верхней стороне ПП .....	44 мм
на нижней стороне ПП .....	100 мм
Измеряемое напряжение	
постоянного тока .....	$\pm 50$ В
Диапазон измерения	
резисторов .....	0,1 Ом–200 МОм
конденсаторов .....	10 пФ–1000 мкФ
катушек индуктивности .....	10 мкГн–1 Гн
частоты .....	до 1 МГц
Габариты системы .....	1700x1680x1240 мм
Масса .....	1577 кг
Электропитание .....	110/220 В переменного тока (2500 Вт)

**Система внутрисхемного контроля TR8 Series фирмы CheckSum.** Модель TR8 (рис.7) представляет собой анализатор производственных дефектов, предназначенный для внутрисхемного контроля ПУ с монтажом в сквозные металлизированные отверстия и поверхностным монтажом, а также аналоговых и цифровых устройств. Система позволяет до подключения питания к ПУ обнаруживать такие производственные дефекты, как неправильный или пропущенный компонент, ошибки сборки, разрывы и короткие замыкания. Различные конфигурации TR8 могут содержать К механического, пневматического или вакуумного типа, верхние или нижние зондовые устройства. Число контактов в К изменяется от 200 до 8000.

Для обнаружения обычных для ПУ с поверхностным монтажом разрывов соединений служат встроенные в К плоские емкостные зонды, каждый из которых можно располагать над контролируемым компонентом.

При добавлении к системе функционального модуля она способна проводить функциональный контроль ПУ с подведенным питанием. Возможно и выполнение периферийного сканирования ПУ, который содержит ИС, рассчитанные на эту технологию контроля.

Программирование системы TR8 возможно как вручную, так и автоматически благодаря преобразованию данных САПР.

Система TR8 имеет следующие основные технические характеристики:



**Рис.7. Настольный вариант анализатора технологических дефектов TR8 Series фирмы CheckSum**

Диапазон измерения резисторов	.....19 Ом–10 МОм
конденсаторов	.....1 пФ–20 000 мкФ
катушек индуктивности	.....1 мкГн–1000 Гн
напряжения постоянного тока	.....±(0,2–10) В
Время контроля разрывов/коротких замыканий при 400 контрольных точках	.....3 с
Программируемый источник питания	.....-12...+12 В

**Семейство систем внутрисхемного контроля 3070 Series 3 фирмы Agilent Technologies.** Эта, последняя, серия тестеров 3070 (рис.8) обеспечивает удвоенную производительность по сравнению с предыдущей, высокие тестовое покрытие, точность, надежность и транспортабельность. Тестеры 3070 позволяют проводить контроль ПУ высокой плотности монтажа, обеспечивая доступ к 5200 контрольным точкам. Семейство использует механические К для внутрисхемного и функционального контроля. Комбинация этих двух видов контроля снижает полную стоимость тестирования.

Входящий в эту серию прибор 3272 проводит следующие операции контроля.

*Контроль ПУ без подключенного питания:* проверка разрывов и коротких замыканий; контроль аналоговых компонентов – измерение сопротивления, емкости, индуктивности; специальные тесты диодов, опорных диодов, транзисторов, плавких предохранителей, перемычек, переключателей и переменных резисторов.



**Рис.8. Система внутрисхемного контроля 3070 Series фирмы Agilent Technologies**



**Контроль с подключенным питанием:** контроль цифровых компонентов – контроль на базе библиотеки данных с максимальным числом контрольных точек 288.

**Аналоговый функциональный контроль:** основанный на библиотеке данных контроль операционных усилителей, компараторов, стабилизаторов напряжения и т.п.

**Периферийное сканирование. Быстрое программирование ОЗУ. Настольная рабочая станция контроля семейства TSA фирмы Rohde & Schwarz.** Чрезвычайно компактная рабочая станция TSA – мощное средство контроля ПУ и модулей, находящихся в производстве. Прибор одинаково подходит как для мелкосерийного, так и для массового производства электронных изделий.

Система TSA позволяет проводить внутрисхемный и функциональный контроль ПУ с высокой глубиной тестирования при высокой производительности. Благодаря автоматической генерации тестовых программ ее адаптация не требует больших затрат. Автоматическое диагностирование неисправностей снижает и стоимость ремонта контролируемого изделия. Система совместима с другими тестерами семейства TSA и имеет сетевое подключение к компьютеризированной интегрированной производственной системе.

Тестовый блок системы содержит 26 слотов для модулей стимулирования и измерения, интерфейса контактирующего приспособления, контролируемого изделия и источника питания. Прибор приспособлен для механического, пневматического и вакуумного К.

Модуль аналогового внутрисхемного контроля измеряет напряжение постоянного тока от 80 мкВ до 100 В и значение постоянного тока от 8 нА до 256 мА. Модуль аналогового функционального контроля измеряет частоту, период, ширину импульса, временной интервал или отношение частот между двумя входными сигналами вплоть до 10 МГц. Отдельный 50-Ом вход позволяет измерять частоту до 200 МГц. Блок цифрового функционального контроля имеет временное разрешение 10 нс, внешнюю синхронизацию вплоть до 50 МГц, содержит модуль драйвер/сенсор для уровня от -2,5 до +30 В при максимальной частоте измерения 10 МГц.



**Рис.9. Внутрисхемный тестер PinPoint II фирмы Diagnostics Systems**

**Внутрисхемный тестер PinPoint II фирмы Diagnostics Systems.** Это быстродействующий экономичный прибор, пригодный для производственного контроля и ремонта, служб сервиса, центров ремонта и т.д. (рис.9). В своем основном назначении он подходит как для крупносерийного, так и мелкосерийного производства.

Тестер представляет собой мощное диагностическое средство для любого цифрового или гибридного устройства, причем неважно, какую конфигурацию имеют компоненты. Возможно даже тестирование многих ПУ, ранее считавшихся неконтролепригодными.

Расширяемый до 360 тестовых выводов прибор PinPoint II может генерировать до 250 тыс. тестовых векторов. Программное обеспечение TestVue, обеспечивающее графический интерфейс, облегчает работу оператора.

**Зондовая система AutoPoint II фирмы Diagnostics Systems.** Система AutoPoint II (рис.10) не содержит К и может сопрягаться с широким спектром контрольно-измерительных приборов. Варианты системы используют один или два управляемых зонда и максимальное число (16) опорных зондов.



**Рис.10. Зондовая система AutoPoint II фирмы Diagnostics Systems**

Система способна тестировать ПУ такой конструкции, при которой контроль его с помощью существующих К невозможен. Она

представляет идеальное решение для отбраковки и контроля ПУ малых серий.

Программные средства сигнатурного анализа Interv3 позволяют проводить анализ на незапитанном ПУ, что обеспечивает неразрушающий контроль любого компонента на ПП.

Система AutoPoint II имеет следующие основные технические характеристики:

Число управляемых зондов	1
Скорость перемещения зонда	25 мм/с
Разрешающая способность	1 мкм
Точность позиционирования	±25 мкм
Максимальные размеры контролируемой ПП	600x600 мм
Максимальная высота контролируемого ПУ	100 мм
Потребляемая мощность системы	500 Вт

### ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ ВНУТРИСХЕМНОГО КОНТРОЛЯ

Выбор правильной методики контроля – это также и вопрос стоимости. В последнее десятилетие основной тенденцией в контроле ПУ стало снижение его стоимости. Стратегия контроля должна адаптироваться к различным ситуациям, таким как аналоговый, цифровой и смешанный тесты; различные схемы расположения; нехватка доступа.

Наиболее эффективный путь справиться с возрастающим объемом контроля – перенос тестирования некоторых или даже всех функций изделия в производственный тестер, который способен разместить и внутрисхемный, и функциональный контроль. Раннее обнаружение неисправностей и быстрая обратная связь корректируют ошибки производственного процесса, что повышает надежность при снижении стоимости изделия.

Стоимостный анализ показывает, что доминирующие расходы связаны с контактирующими приспособлениями. Поскольку К – механическое приспособление, он требует технического обслуживания и нелегко адаптируется к изменениям ПУ. Для ПУ с большей плотностью монтажа и более сложных компонентов трудность изготовления К, как и его стоимость, возрастают. При смешанных ПУ стоимость К еще больше увеличивается и в первый год она может превосходить даже закупочную стоимость тестера.

Средняя стоимость базового внутрисхемного тестера – около 125 тыс. долл. В зависимости от степени сложности К может стоить более 15 тыс.долл. Средняя стоимость базового тестера с управляемыми зондами – около 225 тыс. долл., т.е. почти вдвое выше, чем обычного тестера.

Оптимальным подходом в системах контроля XXI века должна стать комбинация внутрисхемного контроля с рентгеновским и автоматическим оптическим, что обеспечит высокое покрытие неисправностей при точном диагностировании и обратной связи с производственным процессом. Однако такое сочетание возможно только при наличии интеллектуальной связи между соответствующими системами для объединения информации.

### ЛИТЕРАТУРА

- [www.tmworld.com/articles/2001/04/](http://www.tmworld.com/articles/2001/04/)
- [www.tmworld.com/news/2001\\_0802/](http://www.tmworld.com/news/2001_0802/)
- [www.casassembly.com](http://www.casassembly.com)
- [www.evaluationengineering.com/08001/](http://www.evaluationengineering.com/08001/)
- [www.ate.agilent.com/emt/library/](http://www.ate.agilent.com/emt/library/)
- [www.teradyne.com/products/](http://www.teradyne.com/products/)
- [www.genrad.com/products/](http://www.genrad.com/products/)
- [www.checksum.com/products/](http://www.checksum.com/products/)
- [www.rohde-schwarz.com/products/](http://www.rohde-schwarz.com/products/)
- [www.diagnosticsys.com/products/](http://www.diagnosticsys.com/products/)