

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

История функционального контроля (ФК) печатных узлов (ПУ) содержит подъемы и спады. Это первый вид контроля, автоматизированный в конце 60-х годов прошлого столетия. С наступлением эпохи внутрисхемного контроля* в конце 70-х ФК казался обреченным, так как внутрисхемный обещал более легкое и быстрое программирование и диагностирование. Однако направление развития развернулось: внутрисхемный контроль приобрел серьезную проблему — доступ к контрольным точкам ПУ, и ФК снова стал важен.

Сегодня электронные узлы после процессов сборки и монтажа проходят внутрисхемный контроль, за которым следует стадия функционального контроля, осуществляющего проверку работоспособности изделия и идентификацию того, относительно небольшого, числа дефектов, что не были обнаружены при внутрисхемном контроле. Известные достоинства последнего позволяют промышленникам прогнозировать его жизнеспособность в будущем, однако путь развития технологии ИС и рост плотности монтажа ПУ требуют создания новых подходов в контроле ПУ в новом десятилетии.

Прогноз развития ИС указывает на быстрое увеличение приборов с возрастающим числом выводов. Так, к 2012 году электронная промышленность получит до 2690 выводов на компонент. Более того, рост выводов идет рука об руку с тенденцией сохранения размеров ИС всех видов — корпус с матрицей штырьковых выводов, квадратный плоский корпус, корпус с матрицей шариковых выводов (BGA), с матрицей микрошариковых выводов. Плотность в сотни выводов на квадратный сантиметр не дает возможности доступа к ним с помощью контактронов или создания требуемых контактных площадок.

Усложняет проблему контроля и соответственно растущая плотность ПУ: 4000, 7000, 8000 и больше узловых точек, до 20–30 тыс. паяных соединений. В результате сокращается физический доступ для внутрисхемного контроля, визуальный доступ для ручного контроля, усложняется производственный процесс, повышается стоимость незавершенного производства, контактирующих приспособлений и разработки программ, затрудняются внутрисхемный контроль, ФК и ремонт. Добавочным фактором является и усложнение дефектов.

Поэтому производители сейчас работают над стратегиями контроля, способными удовлетворить будущие запросы. В далекой перспективе контроль может пойти в направлении встроенного самоконтроля на уровне платы и системы совместно с самодиагностированием и авторемонтом. Но вряд ли встроенный самоконтроль

Э.Рувинова



сможет заменить верификацию производственного процесса и продукции, пока не появятся новые средства его проектирования.

Эффективная стратегия контроля должна стремиться к максимизации тестового покрытия при минимальных затратах. Максимум покрытия наблюдается при сочетании рентгеновского**/внутрисхемного/функционального контроля. Возможны и другие сочетания, например, автоматизированный оптический***/функциональный контроль, но почти в каждое сочетание входит ФК.

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Обычно ФК применяется на завершающем этапе производственного процесса и служит для приемки или отбраковки готовых ПУ перед их отправкой заказчику. Тестеры ФК, как правило, подключаются к тестируемым изделиям через концевой соединитель или контрольные точки и моделируют электрический режим, в котором будет работать ПУ при эксплуатации. При ФК проверяются рабочие характеристики изделия, т.е. ФК представляет собой средство гарантии качества работы электронного узла.

Применение ФК растет на финальной стадии производства ПУ и даже как операционного контроля. Сегодня ФК необходим для верификации полной функциональности, калибровки, обеспечения данных для процедур ISO 9000 и сертификации приложений с высоким риском, таких как медицинские приборы.

Перед проведением ФК следует знать испытуемое изделие: тип продукции, конфигурацию, ТУ контроля, запланированные точки контроля, предполагаемый объем выпуска, ожидаемый спектр неисправностей. Важно определить стимулы, прикладываемые к входам образца и набор специфических данных, поступающих с выхода. Единственной проблемой должен быть доступ к выводам соединителей. Однако плотность компонентов на плате — все же фактор, поэтому нужно решить, необходим ли доступ к схеме для калибровки, критично ли диагностирование на уровне компонента или конкретной области ПУ, выполнять зондирование вручную или с помощью робота и т.п.

Во многих случаях ФК приспособливают для процедур годен/не годен из-за его медлительности при диагностировании отказов. Однако на некоторых производствах его возвращают обратно в производственный процесс. Пример — производство сотовых телефонов, где часто проводят ряд критичных измерений на уровне ПУ до окончательной сборки. Это объясняется доступностью готовых телефонов, которые конструируются так, чтобы сборка была дешевой и чтобы она не повторялась. Поэтому проверка функциональности до финального контроля может сэкономить расходы на ремонт, а также сократить скрап.

**ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №6, с.34–39.

***ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №6, с.26–32.

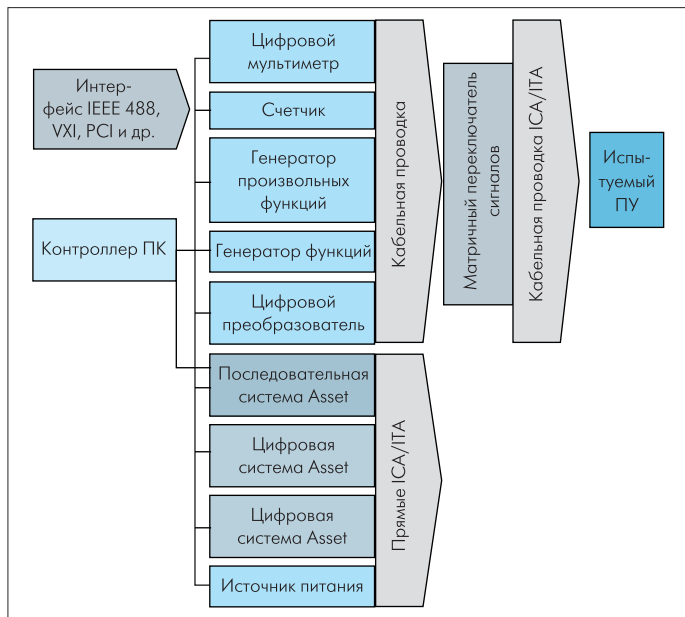


Рис.1. Система тестирования с разделенными ресурсами

При большом объеме выпуска необходимо рассмотреть возможности автоматизации процесса контроля. Добавление стоимости устройства управления обычно не учитывается из-за роста производительности контроля. Контактные приспособления в зависимости от производственных задач могут быть простыми, как соединительные кабели, и сложными, как полностью автоматизированный контактрон. В некоторых случаях требуется зонд-манипулятор.

Архитектура современной автоматизированной аппаратуры ФК базируется на методе разделенных (совместно используемых) ресурсов, что в основном касается тестирования аналоговых устройств. По всей системе контроля размещены специализированные тестовые ресурсы с тем, чтобы обеспечивать наибольшую доступность к интерфейсу этой КИА. Возможности моделирования сигнала ограничены характеристиками отдельного измерительного прибора и его размещением.

На рис.1 показаны основные компоненты типичной структуры распределенных ресурсов. Общий контроллер имеет доступ к средствам контроля через одну шину или сочетание стандартных коммуникационных шин. NHP-IB, VME/VXI/MXI, PCI/C-PCI, SCSI, последовательные коммуникации и т.д. — все используются как межсетевые (управляющие) интерфейсы, что составляет основной архитектурный признак системы тестирования. Основные подсистемы включают подсистему стимулов, измерительную подсистему и подсистему управления/коммуникации. Каждая из этих подсистем создается на базе измерительных приборов, распределенных по большей части системы тестирования. Матричный переключатель обеспечивает соединение любого числа входов с любым или всеми выходами.

Идеально испытуемый ПУ вначале полностью квалифицируется с помощью верификации проекта и опытного образца. Процесс верификации затем точно настраивается на создание наиболее эффективных тестовых процедур, которые гарантируют работоспособность изделия в течение эксплуатации. И система тестирования, предназначенная для ФК, реализует эти процедуры.

Наиболее простая и широко распространенная форма ФК — нагруженная модель, которая просто проверяет, правильно ли работает ПУ. В ПК, например, непроверенные карта или устройство могут быть вставлены вместо работающего блока того же типа. Хотя нагруженная модель — относительно дешевое решение, оно требует

много времени для обслуживания и высокой квалификации оператора при поиске неисправностей.

Другая форма ФК — встроенное ПО. В основе метода — тест нагруженной модели. При правильной разработке для встроенного самотестирования такое ПО обеспечит жизнеспособное решение для ФК изделий в условиях нагруженной модели.

И третья форма — шинная эмуляция, основанная на предположении, что испытуемому ПУ не требуется реальный режим для его ФК. Тест с шинной эмуляцией можно легко разработать как вспомогательный при проведении процесса локализации неисправностей и для снятия характеристик ПУ в проектной фазе. Совместно с правильным цифровым устройством ввода/вывода шинная эмуляция способна создать мощные экономически эффективные средства, которые легко отвечают любым требованиям контроля.

ФК с помощью эмуляции

ПУ с шинной архитектурой могут тестироваться с помощью эмуляции приборов на плате. Типы эмуляции включают процессор, ПЗУ и шину. Эмулятор загружает и выполняет диагностический тест.

Процессорные эмуляторы заменяют процессор ПУ, обеспечивая полное управление по всем процессорным шинам. С помощью эмулятора возможен доступ ко всем частям памяти в ПУ и входам/выходам.

Тестовый доступ на ПУ с высокой плотностью монтажа не представляет проблемы для процессорного эмулятора, хотя при этом реальный процессор должен быть закрыт розеткой, чтобы обеспечить его замену.

Эмулятор ПЗУ заменяет загрузочное ПЗУ, подставляя диагностический код вместо обычного процессорного кода загрузки. В результате испытуемый образец может соединяться с тестером.

Шинные эмуляторы соединяются с гнездом подключения шины или с соединителем непосредственного сочленения, предоставляя тестовый доступ к различным схемам и функциям испытуемого ПУ. Эти эмуляторы пригодны для контроля съемных шинных карт, таких как платы стандарта VXI и PCI.

ФК с помощью интерфейса JTAG

Первоначально этот интерфейс был разработан для решения проблемы тестового доступа к миниатюрным компонентам при проверке межсоединений. Этот последовательный интерфейс, известный также как порт доступа для тестирования, использует пять линий для доступа к сдвиговым регистрам с гирляндной цепью, встроенных во входную цепь каждого компонента, обеспечивая периферийное сканирование компонентов.

Благодаря расширению JTAG-протокола изготовители микропроцессоров и DSP предусмотрели вспомогательные средства на плате, превысив предел быстродействия 20–30 МГц более ранних эмуляторов. Теперь при эмуляторе на плате инструкции наладки могут выполняться при полном быстродействии процессора.

Применение интерфейса наладки

Хотя подобные интерфейсы изначально предназначались для проектировщиков, инженеры по контролю могут использовать их для решений ФК, что способствует сокращению времени разработки, повышению разрешающей способности диагностирования и уменьшению времени тестирования. Контрольное и диагностическое оборудование, использующее процессорный интерфейс наладки, требует только от 6 до 10 контрольных точек на испытуемом образце. Такой доступ достигается в большинстве конструкций ПУ либо размещением промежуточного устройства между центральным процессором и его гнездом, либо применением JTAG.

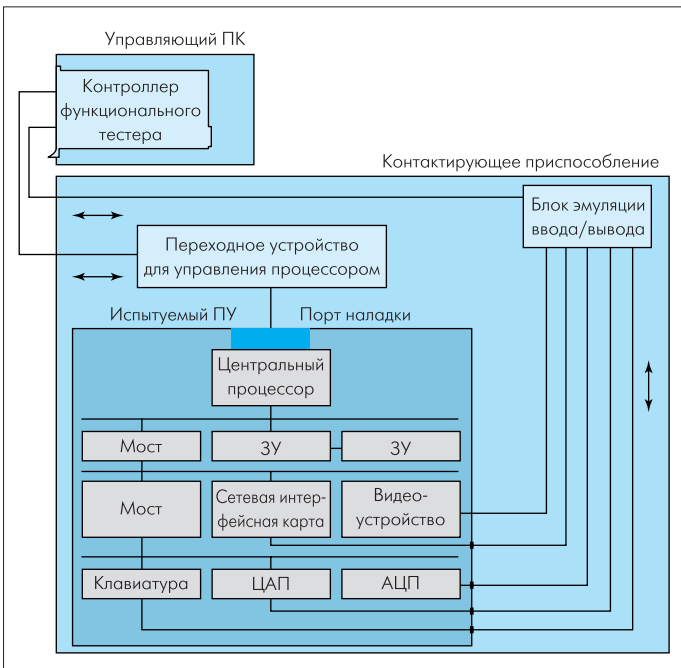


Рис.2. Архитектура функционального тестера с портом наладки

Любое испытуемое устройство с шинной организацией может быть разделено на функциональные блоки, такие как мосты, ОЗУ, видеоконтроллеры и контроллеры входа/выхода. Каждый функциональный блок содержит матрицу ЗУ или регистры входа/выхода. Тестовые программы используют функции наладки расширенного JTAG, предусмотренные изготовителями процессоров для последовательного доступа к этим регистрам, создавая полный тест. Функции низкого уровня включают остановку/запуск процессора, считывание/запись ЗУ, считывание/запись регистров общего назначения, считывание/запись входов/выходов, точки прерывания, пошаговый код и кодовую трассировку. Комбинация этих функций выполняет загрузку тестового кода на испытуемый образец, управляя и контролируя исполнение тестового кода и собирая результаты контроля из ЗУ испытуемого ПУ (рис.2 и 3).

Например, функции записи/считывания могут тестировать ОЗУ, которое также проверяет промежуточные шины. Контроллеры входов/выходов тестируются либо благодаря обратной связи выхода со входом, как в случае сетевых интерфейсных контроллеров, либо генерацией/измерением сигналов с помощью внешних приборов, присоединенных к соединителям плат. Некоторые системы контроля включают блоки эмуляции входов/выходов, что позволяет избежать присоединения реальных периферийных устройств.



Рис.3. Функциональный производственный тестер с портом наладки

Типичная последовательность тестов

Вначале тестер ФК использует интерфейс наладки для управления процессором до того, как он выполнит какой-либо код. Команды от платы контроллера функционального тестера достигают порта наладки через переходное устройство управления процессором, который адаптирует уровни сигналов и протоколы к специфическим семействам процессоров. Контроллер использует процессор как средство для последовательного тестирования всех шин и адресуемых компонентов по всему ПУ. Порты ввода/вывода тестируются с помощью блока эмуляции ввода/вывода, который также соединен с контроллером для обеспечения сравнения откликов сигналов со стимулами.

Например, выходной сигнал динамика может тестироваться с помощью команд центрального процессора, направленных на программирование ЦАП для генерации звукового сигнала. Последний преобразуется снова в цифровой сигнал с помощью блока эмуляции ввода/вывода, который подается обратно к контроллеру функционального тестера для сравнения с оригинальными стимулами. Аналогично тестируются видеосигналы.

Аналоговый ввод, такой как порт микрофона, тестируется с помощью команд блоку эмуляции ввода/вывода для генерации анало-

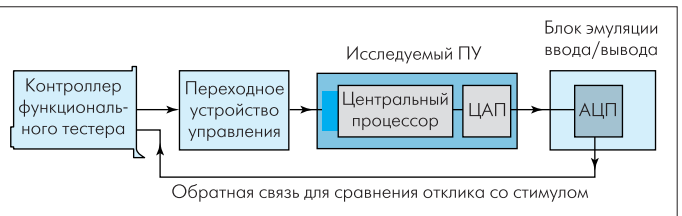


Рис.4. Последовательность тестов для аналогового выходного порта

гового звукового сигнала. Результирующий цифровой сигнал, полученный с помощью интерфейса наладки центрального процессора, сравнивается с оригинальным стимулом (рис.4).

Использование интерфейса наладки имеет ряд существенных преимуществ перед другими решениями ФК. Игнорирование обычной программы работы ПУ позволяет сократить время ФК с минут

Типовая последовательность тестирования для различных приборов

Прибор	Последовательность тестов
Микропроцессор	Тестер останавливает микропроцессор и берет на себя управление
Контроллер ЗУ	Тестирование регистра; конфигурация регистра
ЗУ	Тестирование ЗУ
Мост	Тестирование регистра; конфигурирование регистра
Сетевая интерфейсная карта	Тестирование регистра; конфигурирование карты для нормальной работы; передача и получение пакетов с помощью простой обратной связи
Видеоустройство	Тестирование регистров; использование интерфейса наладки для конфигурирования видеоконтроллера с целью генерации выходной тестовой последовательности на видеоконнектор; использование блока эмуляции ввода/вывода для верификации выходного сигнала
Клавиатура	Использование цифрового модуля ввода/вывода в блоке эмуляции ввода/вывода для моделирования нажатий клавиш; использование интерфейса наладки для верификации ключевых кодов в контроллере клавиатуры
АЦП	Использование аналогового модуля ввода/вывода в блоке эмуляции ввода/вывода для генерации напряжения; обратное считывание и верификация преобразования аналог/цифра с помощью интерфейса наладки
ЦАП (звуковой выходной сигнал)	Использование интерфейса наладки для конфигурирования аудио-контроллера к специфической частоте; обратное преобразование в цифровой сигнал с использованием аналогового модуля ввода/вывода в блоке эмуляции ввода/вывода; верификация с помощью контроллера функционального тестера

до секунд, что приводит к значительной финансовой экономии. Исчерпывающая диагностическая информация может быть обеспечена на уровне компонента, даже для неактивного ПУ. В некоторых случаях интерфейс наладки позволяет также осуществлять внутри-системное программирование флэшЗУ.

Время установки минимизировано с помощью библиотек предварительного программирования приборов и прикладных программ автоматических генераторов тестов, поставляемых с некоторыми тестерами. Программа генератора тестовых последовательностей опрашивает эталонный ПУ для идентификации приборов и затем автоматически создает тестовые драйверы для проверки такого же набора приборов на следующей плате во время производства и ремонта.

Система тестирования

Область ее действия – выполнение калибровки аналоговой секции и верификация аналоговой точности как финальный тест до отгрузки. Проблему представляет тестирование с быстродействием VME-шины и коммуникация с микропроцессором ПУ. Испытуемый ПУ требует постоянной связи с расположенным в нем микропроцессором, что необходимо для обслуживания сторожевого таймера; каналы аналоговых ввода/вывода перезагружаются до нуля, если время сторожевой схемы истекает.

Чтобы удовлетворить эти требования, нужна система цифрового ввода/вывода, такая как, например, карта GT50 фирмы Geotest, которая работает независимо от центрального процессора системы тестирования. Завершают систему тестирования матричный переключатель, прецизионный источник питания постоянного тока и цифровой мультиметр на 6,5 разрядов (рис.5).

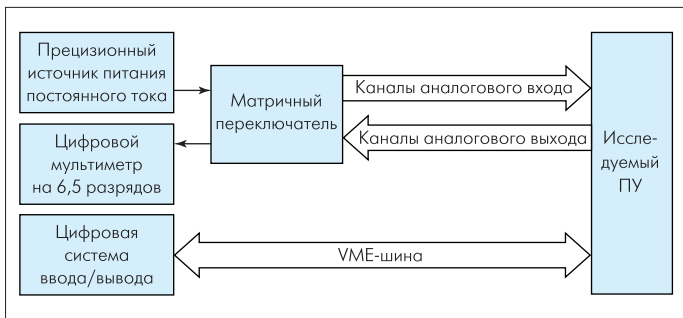


Рис.5. Конфигурация системы тестирования

ПРИМЕРЫ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕСТЕРОВ

Фирма Teradyne (США)

Фирма имеет 30-летний опыт производства автоматизированных функциональных тестеров с широким диапазоном аппаратного и ПО при всемирной организации обслуживания и поддержки. Teradyne выпускает функциональные тестеры широкого применения для производства коммуникационного оборудования, компьютеров и автомобильной аппаратуры. Ее решения на базе стандартов VXI и PXI выполняют требования ФК для блока управления двигателем автомобиля, телекоммуникационного оборудования и передачи данных, радиоаппаратуры, медицинской аппаратуры и критичных изделий военно-космического назначения. Продукция фирмы обеспечивает широкий спектр тестирования ПУ, в том числе опытных образцов, крупносерийного производства, осуществляет селективный выборочный контроль, финишный или контроль систем, диагностирование в условиях эксплуатации, хранения и ремонта.

Серии систем тестирования базируются на промышленном стандарте VXI, ПК, Windows NT. Серия на VXI позволяет легко специализировать требования ФК простым добавлением необходимых измерительных приборов и источников питания. Программирование осуществляется легко.

Системы тестирования и измерения GENEVA на основе VXI выполняют верификацию высшего уровня для крупносерийного производства. По всему миру установлены сотни систем GENEVA, которые обеспечивают точный и воспроизводимый производственный контроль.

Система ФК модели GENEVA фирмы Teradyne

(рис.6) предназначена для точного и воспроизводимого производственного контроля в различных вариантах. Она представляет собой общую платформу, которая легко поддерживается. Это система тестирования и измерений на базе VXI. Ее VXIscan – уникальная запатентованная архитектура для переключения сигналов. Автоматический переключатель маршрутов обеспечивает быструю разработку программы. Подсистема GR TestManager осуществляет общее управление тестированием и разработкой.



Рис.6. Система тестирования GENEVA фирмы Teradyne

Опыт фирмы в разработке ФК свидетельствует, что полная верификация продукции должна включать стандартизированные, модульные аппаратные и программные средства, которые приносят пользу работе. Фирма может пойти дальше и предложить решения, готовые к непосредственному использованию (со сдачей "под ключ") производителями телекоммуникационной аппаратуры, систем передачи данных, медицинской и военно-космической продукции. Эти решения включают аппаратные, программные средства, контактирующие приспособления и разработку приложений, соответствующих требованиям конкретной продукции и производственным условиям.

Стандартизированные платформы системы GENEVA создают общий режим по всем производственным линиям, выполняя локальную или дистанционную поддержку просто и быстро. Модульный принцип в аппаратных и программных средствах позволяет создать библиотеку объектов, которая совместима со стандартным оборудованием VXI, GPIB, IEEE, съемными приборами ПК. При изменении требований к ФК система GENEVA может быть модифицирована. Ее можно конфигурировать в соответствии с ТУ контроля, объемом производства ПУ и финансовыми возможностями.

Вне зависимости от выбора платформы каждая система тестирования обеспечивает исключительную целостность сигнала для широкого диапазона аналоговых и цифровых стимулов и измерений. Основная конфигурация системы поддерживается вплоть до 2000 Вт.

VXIscan – инновационная модульная переключательная подсистема, с перспективным ПО маршрутизации сигналов (рис.7). Многоканальная аналоговая шина является частью архитектуры переключателя. Это обеспечивает простое расширение матрицы и облегчает параллельные стимулы и измерения, сокращая время на тестирование.

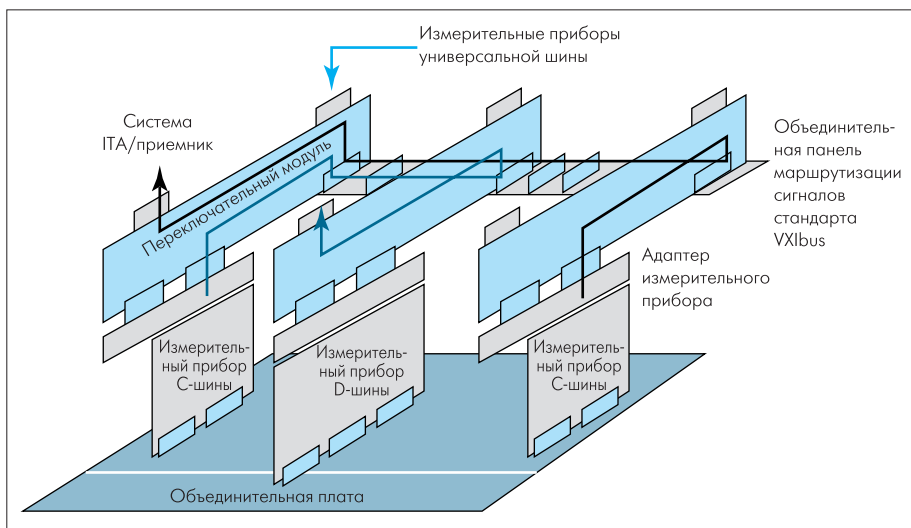


Рис.7. Подсистема переключения сигналов фирмы Teradyne

Фирма Agilent Technologies (США)

Системы ФК фирмы обеспечивают всестороннее тестирование, точное диагностирование и высокую производительность как при верификации проекта, так и при производственном контроле. Эти системы отвечают требованиям телекоммуникационной, военной, аэрокосмической и автомобильной индустриям.

Система GS-8000 (рис.8) предназначена для полного ФК мобильных телефонов. Даже при серьезном изменении конструкции



Рис.8. Система GS-8000 фирмы Agilent

изделия она выполняет требования контроля. Система оптимизирована для калибровки и проверки работы на уровне печатной платы и законченного изделия. Обеспечивает сокращение времени выхода изделия на рынок. Благодаря низким вложениям в решение проекта контроля стоимость контроля также низкая.

Система GS-8000 содержит испытательную установку Agilent

8960 с беспроводной связью – платформу для поддержания всех основных протоколов сотовой связи, источники питания, промышленный ПК, дисплей, клавиатуру и модульную панель межсоединений. Систему можно переконфигурировать с помощью вариаций источника питания, размеров стойки, комплекта измерительных приборов, мультиплексора, цифрового мультиметра и цепи цифрового ввода/вывода.

ПО системы содержит среду для разработки программ конкретного применения, среду выполнения контроля, приложение для типового контроля, приложение для эталонного контроля. К системе прилагается ряд контактирующих приспособлений для ручного и автоматического манипулирования (рис.9). Эти приспособления обеспечивают отличную развязку по ВЧ и могут осуществить автоматическое соединение с испытуемым ПУ.

двумого ПУ 66319D, ВЧ-переключатель и маршрутизатор сигналов, промышленный ПК, беспроводное устройство управления контролем.

Устройство управления контролем поддерживает простой интерфейс пользователя. Оператор управляет программой и конфигурацией с различных клавиш интерфейса. Устройство позволяет создавать новые тесты простыми смещением и просмотриванием заранее определенных этапов теста в окне плана контроля. Кроме того, можно легко изменять параметры и спецификации для этих тестов простым выбором этапа контроля и последующим введением соответствующих величин.

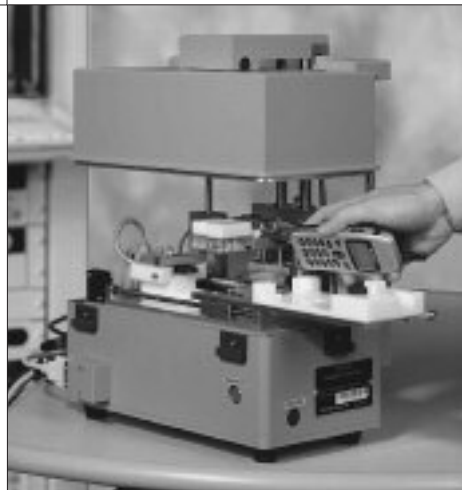


Рис.9. Контактующее приспособление системы GS-8000

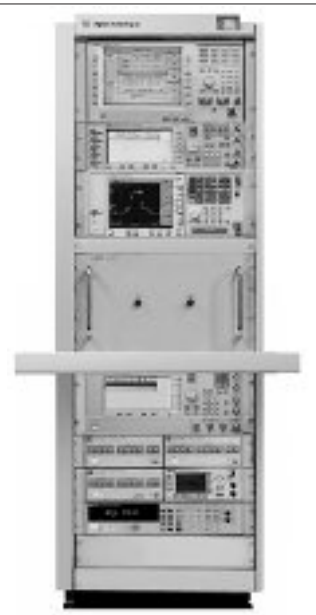


Рис.10. Система GS-8000 фирмы Agilent

Фирма Checksum (США)

Система Func-2 фирмы

Checksum сочетает в себе возможности анализатора технологических дефектов и ФК. Система способна вначале осуществить проверку соединений и укладки компонентов в испытуемом ПУ, затем подать на него питание и проверить правильность его работы. Анализатор технологических дефектов обычно имеет тестовое покрытие порядка 80–90%, для локализации остальных неисправностей используется функциональный тестер. Благодаря объединению двух тестеров модель

Func-2 значительно дешевле, чем раздельно работающие системы. Стоимость ее дополнительно снижена еще и за счет совместного использования двумя тестерами контактных приспособлений. В режиме ФК тестер подает к испытуемому ПУ питание, а затем к датчику подводит стимулы и переключает входные сигналы. Одновременно производится наблюдение выходных сигналов.

Все стандартные возможности ФК обеспечиваются в одном модуле высокой плотности монтажа, который вставляется в контроллер (ПК). Цифровой мультиметр обеспечивает измерение напряжения в диапазоне от 200 мВ до 600 В и сопротивления от 2 до 20 Ом. Счетчик/таймер используется для измерения частоты до 10 МГц и периода времени. Для создания стимулов применяется генератор функций, который может генерировать сигналы постоянного тока, а также сигналы синусоидальной и прямоугольной формы. Для проверки функциональной работы ПУ предусмотрены цифровые сигналы низкой скорости.

Из приборов других фирм можно отметить функциональные тестеры FT-100 фирмы Y-Tek (США) и WK 5908 фирмы WK TEST (Великобритания). **FT-100** – полностью программируемый функциональный тестер, предназначенный для контроля цифровых и аналоговых микросхем и ПУ (рис.11). При невысокой цене этот тестер способен выполнять большинство важнейших задач контроля в мелко- и среднесерийном производстве.



Рис.11. Функциональный тестер FT-100 фирмы Y-Tek

Основной модуль содержит 40 цифровых входов и 40 цифровых выходов, восемь аналоговых входов (0–10 В), семь аналоговых вы-

ходов, один восьмибитовый цифровой входной порт внешней синхронизации, источник питания, интерфейс RS232, часы реального времени и ЖК-дисплей. Дополнительные модули расширяют возможности тестера по числу входных/выходных каналов (например, до 880 цифровых входов).

Автоматизированный внутрисхемный и функциональный тестер **WK 5908** (рис.12) выполняет ФК аналоговых и цифровых устройств. Модульная архитектура обеспечивает решение самых разнообразных тестовых задач, выбор правильной стратегии контроля и изменения конфигурации системы для соответствия будущим потребностям. Система может быть сконфигурирована для проведения аналогового ФК, в том числе измерения сигналов до 450 МГц, напряжения, тока, частоты, периода. Внешнее управление контрольно-измерительными приборами обеспечивают стандартные интерфейсы GPIB и VXI. Дополнительная гибкость диагностирования достигается за счет вакуумных, кассетных и пневматических приспособлений.



Рис.12. Функциональный тестер WK 5908 фирмы WK TEST

Evaluation Engineering, 2003, №3, p.32–36; №4, p.20–24

www.agilent.com/
www.teradyn.com/
www.checksum.com/
www.sovtest.ru/

Новые контрольно-измерительные приборы (США)

Тестер для контроля конденсаторов. Карманный внутрисхемный тестер модели 881 фирмы V&K Precision измеряет эквивалентное последовательное сопротивление и активное сопротивление электролитических конденсаторов (0,47–2200 мФ) в диапазоне напряжений 0,1–30 В. Трехцветная диаграмма номинальных значений эквивалентного сопротивления на передней панели прибора помогает определить, удовлетворительные или нет значения параметра. Источник питания – стандартная батарея на 9 В или дополнительный преобразователь переменного напряжения в постоянное. Цена 199 долл.

Универсальный счетчик. Программируемый универсальный счетчик С3100 фирмы Protek измеряет частоту, период, коэффициент заполнения импульсов, число оборотов в минуту, отношение частот, разностную частоту, интервал времени. Работает на частотах до 2,4 ГГц. На ЖК-дисплее вычерчиваются графики изменения величин. Прибор содержит ПО на базе Windows, кабельный выход RS-232 и байонетный соединитель. Цена 429 долл.

Гигро-термометр. Карманная модель гигро-термометра RH101 фирмы Extech Instruments измеряет влажность, температуру воздуха и температуру поверхности без контакта с ней. Прибор содержит встроенный ИК-термометр, который измеряет температуру в диапазоне 50–500°C в опасных и труднодоступных местах. Лазерный указатель показывает исследуемое место. Показания на ЖК-дисплее с подсветкой видны даже в темноте. Цена 149 долл.

Тестер для проверки кабелей. Карманная модель CA7024 фирмы Sealevel Systems позволяет легко локализовать неисправность и определить расстояние до нее в силовых и связных кабелях. Прибор измеряет расстояние до обрыва или короткого замыкания в пределах 2 км с индикацией результатов на ЖК-экране с подсветкой. Внутренняя библиотека стандартных типов кабелей обеспечивает точные измерения без необходимости введения скорости распространения. Цена 495 долл.

Калибратор влажности. Модель 2000 калибратора влажности и генератора фирмы Kaymont Consolidated Industries упрощает техническое обслуживание и калибровку датчиков относительной влажности, загрузку данных, передатчиков и других приборов для измерения влажности в полупроводниковой, медицинской, упаковочной и других отраслях промышленности. В приборе используется цифровая технология, он обеспечивает высокую точность и простоту пользования.

Источник питания с тремя выходами. Модель источника питания 3040Т фирмы Protek, помимо двух выходов 0–36 В при токе 2,5 А, оснащена еще и фиксированным выходом 3,3–3,5 В на ток 5 А. Источник имеет яркий цифровой дисплей. На передней панели возможно по выбору параллельное, последовательное или независимое наблюдение показаний. Нестабильность в нагрузке менее 0,05%. Цена 470 долл.

www.tmworl.com