

Автоматизация тестирования аналоговой и ВЧ-электроники

Сергей Дубровский, Energy Micro, s.dubrovski@gmail.com

Алексей Иванов, JTAG Technologies, alexey@jtag.com

Сергей Дубровский, специалист по тестированию электроники с 20-летним стажем, работавший на крупнейших западных предприятиях по производству электронного оборудования и микроэлектроники, делится с читателями своим опытом по автоматизации тестирования современных радиоприемных и радиопередающих устройств. Производить конкурентную продукцию сегодня возможно только при обеспечении качества на всех этапах жизненного цикла изделий, в т.ч. при тестировании. А качество тестирования складывается из трех составляющих: высокого тестового покрытия, легкости локализации и ремонта и исключения человеческого фактора (т.е. полной автоматизации).



Рис. 1. Тестовый комплекс серии Agilent GS-8800

На сегодняшний день тестовый комплекс аналоговой или радио части чаще всего представляет собой один или несколько стандартных кабинетов, например, на базе 19-дюймовой стойки (см. рис. 1). Набор измеритель-

ных инструментов зависит от типа производимых изделий. Использование стоек позволяет получить компактный, но полноценный тестовый комплекс, который в лабораторных условиях может занимать несколько столов, а то и целое помещение. В условиях серийного производства такой подход ведет к экономии места, времени тестирования и настройки за счет исключения необходимости в перемещении тестируемых плат или приборов и в операциях по их подключению. Кроме того, становится возможным создать гибкую систему, в любой момент позволяющую перенастроить ее на разные типы изделий. Таким образом, само по себе использование стойки повышает эффективность процесса контроля и наладки. Очень важно,

чтобы сам шкаф прошел контроль на электромагнитную совместимость, а персонал прошел ESD-контроль. На производствах электроники в Европе стойки обязательно проверяются на соответствие параметром электростатической защиты, хотя следует отметить, что это всего лишь требование стандарта ISO900х.

В зависимости от типов и объемов выпускаемых изделий тестовый комплекс может быть также частью конвейера (автоматизированной производственной линии), в которой размещаются необходимые для производства измерительные приборы и тестовые средства. Пример такого варианта показан на рисунке 2. В данном случае максимально исключается человеческий фактор, т.к. изделия проходят по конвейеру. Нетрудно догадаться, что такой подход (встраивание тестового комплекса в линию) чаще всего используется в крупносерийном производстве. В линии могут размещаться ПК, измерительное оборудование, тестеры, а также манипуляторы с контактирующими пробниками.

Приведем примеры приборов, которые могут входить в стойку, предназначенную для тестирования радиоустройств. Скажем, для контроля устройств мобильной связи в основном используется универсальный радиокоммуникационный тестер для контроля стандартных параметров передатчика и приемника. Такой прибор чаще всего имеет запрограммированные наборы измеряемых характеристик, соответствующие междуна-



Рис. 2. Встраивание тестового комплекса в производственную линию

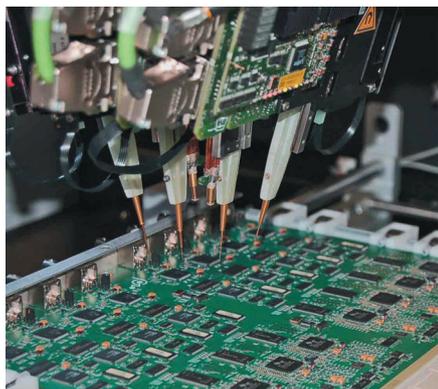


Рис. 3. Установка с летающими щупами

ным стандартам, например 3GPP для мобильной связи или ITU-T для других видов проводной и беспроводной связи. Таким образом, нет необходимости настраивать все исходные параметры и снимать показания вручную. Следует заметить, что многие измерения в мобильной радиосвязи являются комплексными и требуют особых расчетов. Радиокommunikационный тестер имеет встроенные наборы необходимых тестов и самостоятельно проводит необходимые вычисления, поэтому использование такого прибора значительно облегчает задачу при тестировании стандартных радиопередающих и приемных устройств. Также могут использоваться векторные анализаторы и генераторы сигналов для контроля функциональности передатчика и приемника. Для контроля амплитудно-частотной характеристики, например маломощных усилителей или фильтров, используется векторный анализатор цепей. Для контроля и настройки уровней мощностей могут использоваться измерители мощности или анализаторы спектра. Если радиоустройство не требуется тестировать на соответствие телекоммуникационным стандартам при помощи специализированных тестеров, то на сегодняшний день очень часто используются инструменты PXI, которые представлены тысячами наименований от разных производителей. Следует заметить, что хотя PXI как универсальная платформа для построения модульных комплексов функционального тестирования используется повсеместно во всем мире при серийном производстве радиоаппаратуры, удовлетворяя требованиям производственного тестирования, при лабораторном контроле и исследова-

ниях (более тщательных) пока что чаще всего используются стационарные дорогостоящие приборы. Только сейчас стали появляться PXI-приборы, обеспечивающие высокую точность. Однако при использовании PXI-шасси на производстве преимущества неоспоримы. Трудно недооценить гибкость, с которой можно добавлять и удалять измерительные модули, имеющие одинаковый и достаточно компактный форм-фактор.

При всем этом современное радиооборудование, будь то мобильное устройство или платы для базовых станций, содержит довольно большую цифровую часть, которая нельзя игнорировать. Чаще всего тест этой части проводится при помощи периферийного сканирования (JTAG). JTAG-тестер также может входить в состав общей стойки (кабинета) и даже иметь форм-фактор PXI.

В каких-то случаях в состав стойки входит ICT-тестер (In-Circuit Test — внутрисхемный тест) с использованием игольчатых адаптеров, но данная тенденция постоянно ослабевает вследствие перехода аналоговой электроники на модульную архитектуру (PC-модули, SMC и т.д.), миниатюризации тестируемых изделий и перехода на «цифру». Если радиоприемная/передающая часть изделия выполнена путем монтажа готовых модулей, то политика многих западных производителей запрещает их ремонт и повторную установку, т.к. излишние температурные воздействия могут, например, повредить их частотные характеристики. В данном случае PC-модуль выступает в роли целостного компонента, который при неисправности меняется на другой. Кроме того, обширная цифровая начинка, которая при этом сама чаще всего проверяется JTAG-тестом, помогает затем протестировать радиомодуль с помощью симуляций (on-chip/on-board self-test). В современных техзаданиях на разработку аппаратуры в части тестопригодного проектирования часто можно встретить указание избегать по возможности использования адаптерного ICT-теста.

При тестировании цифро-аналоговых узлов может использоваться комбинация тестовых методов, что можно продемонстрировать на примере АЦП или Ethernet. Если, предположим, на плате присутствует контрол-

лер Ethernet, то часть цепей, находящихся между цифровой частью схемы и контроллером РНУ, можно контролировать с помощью периферийного сканирования, а внешние цепи, выходящие на разъем, могут верифицироваться с использованием специальных автоматических Ethernet-тестеров.

Даже если на современных производствах и используется ICT-тест, то только для каких-то отдельных участков плат, поэтому контактных точек задействовано мало, и оснастка довольно простая. Тем не менее, если тестируемое изделие содержит большое количество отдельных компонентов (не модулей) в аналоговой части, то ICT-тест все-таки используется для локализации дефектов, в особенности, если изделия дорогие и сложные. Следует заметить, что в настоящее время внутрисхемный тест часто выполняется с помощью установок с летающими пробниками (Flying Probe) (см. рис. 3), а не адаптерными тестерами, как прежде. На крупносерийных производствах, где дорога каждая секунда, установки Flying Probe находятся не в общей линии для тестирования всех изделий, а только в отделах по ремонту и поиску неисправностей, т.к. скорость работы тестера Flying Probe на порядок ниже, чем адаптерного ICT. В условиях малосерийного производства установки с летающими щупами, если они имеются, могут применяться для всех изделий.

Выбор тестовых методов осуществляется еще на этапе оценки тестопригодности при разработке изделия. Существует довольно-таки много программных средств для оценки тестопригодности (Design-for-Test, DfT) при использовании различных методов тестирования (периферийное сканирование, внутрисхемный тест, функциональный тест).

При тестировании аналоговой части радиоустройств для подключения сигналов между приборами и тестируемым устройством используется коммутатор. Как правило, он представляет собой высокочастотный переключатель. Если тестируемое устройство содержит несколько приемных/передающих радиоканалов или ВЧ-тракт, являющийся приемным и передающим одновременно, то цель тест-инженера, строящего тестовый комплекс, исключить любой человеческий фактор при коммутации кабелей.

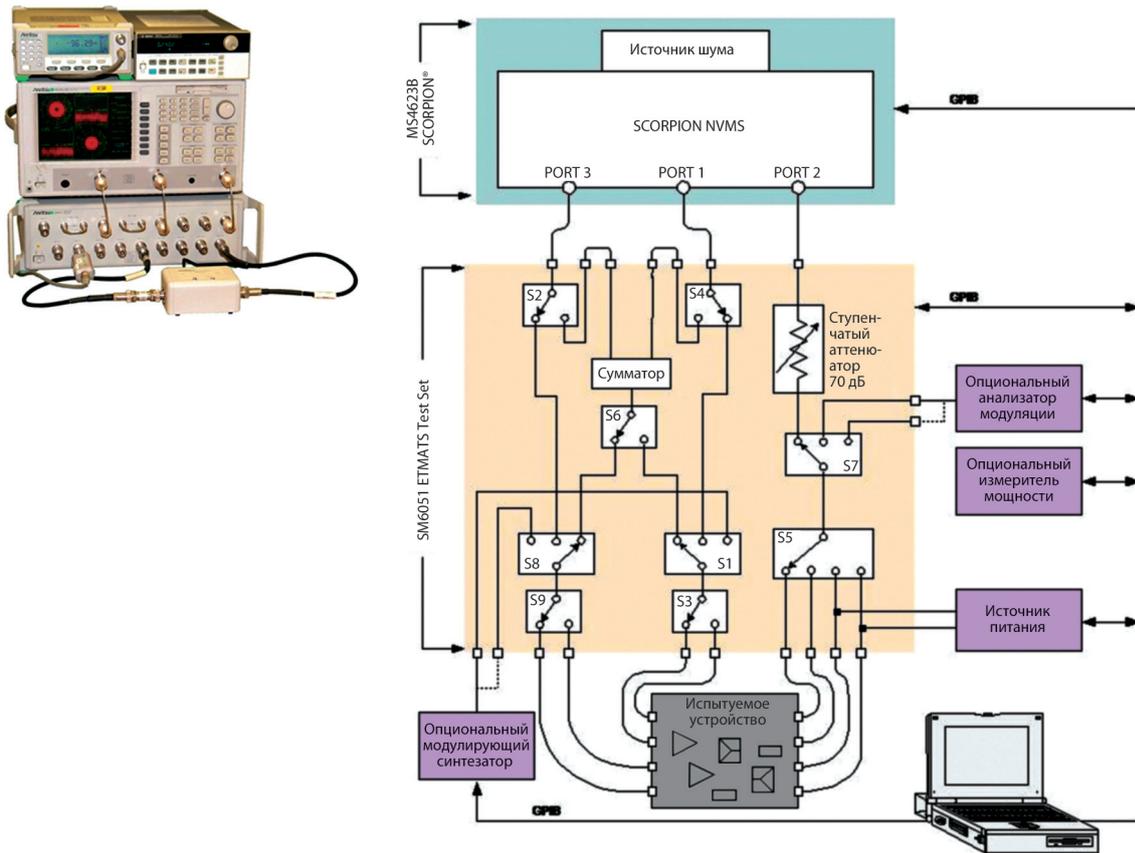


Рис. 4. Пример тестового комплекса для сложных радиоустройств

Коммутатор также обычно содержит встроенный мультиметр для измерения токов и напряжений. На рисунке 4 представлен пример структурной схемы автоматизированного тестового комплекса, в который входит анализатор цепей с возможностью измерения шума (сверху), высокочастотный коммутатор (по центру), некоторые опциональные приборы и ПК. Как видно из рисунка, такой комплекс позволяет провести измерения, связанные с приемом и передачей сигналов, шумовыми характеристиками и коэффициентами отражения, не переключая вручную ВЧ-кабелей. Тестируемое устройство может представлять собой, например, усилитель 3G для вышек сотовой связи. Наличие в системе коммутатора даже при тестировании сложнейших ВЧ-устройств с множественными трактами приема/передачи делает возможным использование всего лишь одного анализатора цепей с 2–3 каналами (который, порой, является довольно дорогостоящим прибором).

Измерения выполняются автоматически и запускаются, как правило, с помощью общей компьютерной

программы. Управление приборами может осуществляться, например, по шине GPIB. В самых современных приборах используются более скоростные интерфейсы, например LXI или USB. В случае PXI-шасси используется PCI-интерфейс (базовый интерфейс PXI-систем). Самыми используемыми в мире программными оболочками для функционального тестирования и создания тестовых последовательностей на сегодняшний день является программа LabVIEW и TestStand от National Instruments. Практически любой производитель тестового и измерительного оборудования имеет наборы драйверов, позволяющие управлять, снимать и обрабатывать результаты измерений с помощью LabVIEW и TestStand. В то же время производители тестового оборудования, понимая, что не везде на предприятиях используются программы National Instruments, делают также возможным управление приборами из программ собственного написания, например на C++, Visual Basic и др., т.е. поставляют драйверы и руководства пользователя.

Если, скажем, в Северной Америке подавляющее число тестовых платформ базируется на LabVIEW и TestStand, то в Европе можно часто встретить оболочки, созданные с помощью «общепринятых» языков программирования. Случается так, что в крупных корпорациях по производству электроники во всех подразделениях используется общая оболочка для тестирования, разработанная штатными программистами. Если компания довольно крупная и может позволить себе штат программистов, порой оказывается дешевле написать собственную оболочку, чем покупать огромное количество лицензий на коммерческие оболочки для функционального теста, которые будут использоваться на множествах производств в нескольких странах. Главная цель, которую необходимо осуществить тест-инженеру при создании управляющей программы, — обеспечить полный автоматический контроль над всеми приборами (часто от разных производителей), измерениями, коммутацией сигналов и обработкой результатов.

Кроме того, тестовая оболочка должна иметь связь с существующи-

ми базами данных по изделиям для хранения и отслеживания результатов на каждом этапе тестирования (traceability). На предприятии, строго следящем за качеством и репутацией своих изделий, отслеживание производится даже в области измеряемых при автоматическом тестировании параметров компонентов платы. Например, если электрические характеристики какого-нибудь диода начинают приближаться к недопустимым пределам, то принимается решение о его замене на аналог другой фирмы-производителя или другой тип. Следует заметить, что после такой замены необходимо провести расширенный набор испытаний изделия: наработку на отказ, климатические испытания и т.д. Часто система отслеживания имеет интернациональный характер (например, в случае, если производства находятся в Азии или где-то еще). Разработчики производимых устройств, менеджеры по качеству и тест-инженеры не должны терять контроля над процессом тестирования даже в таком случае.

Контроль может происходить в несколько логических этапов. Самый первый тест, который обычно осуществляется еще на производственной линии, — это автоматическая оптическая инспекция (АОИ) или рентген-контроль. Поскольку эти методы не являются электрическими, они не рассматриваются в рамках данной статьи.

Первым этапом электрического контроля является проверка собранной печатной платы по максимальному количеству параметров, чтобы убедиться, что в сборку конечного блока идут компоненты (т. е. отдельные платы) с наименьшим количеством дефектов. Если ошибки обнаружатся уже в собранном устройстве, это по-

влечет за собой лишние затраты времени и материалов. Если речь идет об аналоговой части изделия, то на первом этапе проверяются потребление тока, напряжение, частота, выходная мощность, спектр и т. д. К примеру, в современных электронных изделиях на плате может использоваться довольно-таки большой диапазон напряжений, для верификации которых часто используются игольчатые адаптеры, подобные тем, которые применяются в ICT, или тестеры Flying Probe. В качестве альтернативного варианта проверка напряжений может быть частью ICT-теста, если таковой используется. Для проверки цифровой части платы применяется периферийное сканирование JTAG, после чего происходит калибровка (настройка) параметров. На данном этапе может происходить загрузка тестовой программы (или загрузчика для последующего программирования через другие интерфейсы), которая содержит процедуры для ввода устройства в тестовые режимы.

Второй этап — это, как правило, функциональный контроль уже собранного устройства, в процессе которого осуществляется проверка внешних интерфейсов — дисплея, индикаторов (светодиодов), антенн, интерфейсов подключения внешних устройств и других параметров. На данном этапе радиопараметры могут тестироваться как в режиме генерации и анализа сигналов при измерении, например, только мощности, так и в режиме симуляции, приближенном к реальности, путем измерения всех указанных в стандарте параметров.

Еще одним этапом может стать проверка устройства в условиях экстремальных температур. Как правило, на этом этапе проверяется только часть устройств, но критериев, по ко-

торым выполняется проверка, больше, чем при проверке в нормальных условиях, и они более сложные.

Иногда устройства проходят еще один этап проверки — наработку на отказ (burn-in). На этом этапе контролируемые устройства симулируют нормальную работу в течение определенного времени (например, нескольких дней). Затем устройства снова проходят функциональный тест. Если какое-то измерение или процедура занимает большое количество времени, это измерение выносится в отдельный этап тестирования. Такое разделение позволяет сбалансировать время на каждом этапе тестирования. И, наконец, последним этапом является конфигурация устройства в соответствии с требованиями клиента.

В качестве итога перечислим основные факторы, которые следует учитывать при построении тестовой стратегии для аналоговой и ВЧ-техники.

1. Исключение человеческого фактора (автоматизация всех процессов, измерений, переключений и т.д.).
2. Максимальное тестовое покрытие.
3. Возможность динамической перенастройки тестового комплекса под различные типы изделий (в т.ч. новых, которые могут появиться в будущем).
4. Полное отслеживание и сохранение результатов каждого из этапов тестирования, а также систематическая статистическая обработка этих результатов.

Разумеется, невозможно представить структуру универсального тестового комплекса для всех радиоустройств, однако рассмотренные принципы тестирования позволяют производить конкурентоспособную современную продукцию.