

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

ЧТО, КАК И ЗАЧЕМ

А.Насонов andrey.nasonov@ostec-smt.ru

Проверка работоспособности электронного изделия всегда была важным звеном производственного процесса. С усложнением изделий и увеличением объемов их производства ручная проверка готовых изделий (как, впрочем, и монтаж) стали невозможными. Пришедшие на помощь людям автоматы не просто ускорили процессы тестирования и локализации дефектов. Автоматизация привела к появлению принципиально новых методов и технологий монтажа и тестирования, использование которых позволяет создавать изделия высочайшей степени надежности.

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

Термин "электрическое тестирование" появился сравнительно недавно, заменив собой понятие "настройка электронных изделий", и эта замена – не простая дань моде. Слова "настройка" и "тестирование" не совсем синонимы – в обоих случаях они подразумевают проверку качества изделия, но "настройка" подразумевает участие человека (есть даже соответствующая профессия – настройщик электронного оборудования), а "тестирование" стало употребляться тогда, когда появились первые автоматизированные средства для выполнения этого процесса. Сначала эти средства лишь помогали человеку выполнять проверку изделия, но в процессе их эволюции появились принципиально новые технологии и подходы к проверке электронных устройств.

Электрическое тестирование выполняет две основные задачи. В первую очередь, оно должно оценить работоспособность изделия и его качественные характеристики. Вторая задача более утилитарна – обнаружение дефектов, их локализация и информирование о том, что нужно исправить при ремонте после производства. Нужно отметить, что в словах "ремонт после производства" нет ничего страшного. Конечно, нужно стремиться к снижению количества производственных дефектов до минимума, но по законам математики собрать сложное изделие вообще без дефектов просто невозможно – умножив ничтожные вероятности появления дефектов на большое количество компонентов, мы получим вполне ощутимую величину появления дефекта.

ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ ТЕСТИРОВАНИЯ

Те славные времена, когда электронные изделия были настолько просты, что собрать их мог один человек (автоматизировать в процессе их производства было просто нечего, да и техника того времени не позволяла это сделать), а партия в сотню изделий считалась крупной, канули в Лету. С усложнением электронной техники ее производители поняли необходимость в автоматизации – стремительно развивающийся рынок требовал увеличения объемов производства. Исторически сложилось так, что впервые с этим столкнулись производители телевизоров во время бурного роста популярности телевидения – объемы производства телевизоров стали измеряться миллионами штук. В таких условиях возникло естественное желание автоматизировать и удешевить столь интенсивное производство. Это получилось не сразу, так как автоматизация производства потребовала изменения конструкции устройств и элементной базы, например, распространенный сейчас поверхностный монтаж – это, кроме прочего, та самая технология, которая позволяет использовать автоматическую сборку.

С появлением автоматизированного сборочного оборудования возникла необходимость и в автоматах для настройки изделий, ведь при столь крупных сериях "армия" наладчиков может разрастись до угрожающих размеров. Кроме этого, автоматизация сборки повлекла за собой появление компонентов, которые невозможно ни монтировать, ни проверять вручную. В результате возникла интересная ситуация: изначально средства автоматизации применялись для того, чтобы лишь удешевить массовое производство, но в итоге без автоматов сейчас невозможно (или очень сложно) собрать и настроить даже единичное изделие!

Миниатюризация элементной базы позволяет значительно усложнять электронные изделия, совершенствуя их возможности при сохранении или даже уменьшении размеров. Одна современная микросхема может содержать в себе схему, для которой раньше требовался целый шкаф с электроникой. Внутренняя структура таких микросхем крайне сложна и, следовательно, полноценная ее проверка тоже очень трудоемка и длительна. А бывают задачи, где требуется обеспечить абсолютную работоспособность изделия в условиях, когда неизбежные по законам статистики дефекты не могут компенсироваться, например, программным

способом, как "битые" ячейки в памяти настольного компьютера. Это могут быть, скажем, изделия для космических аппаратов (КА) – ведь перед полетом на спутник Марса электроника КА должна работать идеально, но на ручную проверку всей его "начинки" просто не хватит жизни наладчика. И в этом случае автоматические средства настройки электроники незаменимы.

ВНУТРИСХЕМНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

С приходом автоматов появилось новое понятие – внутрисхемное тестирование, т.е. электрическая проверка схемы на соответствие документации. Такая проверка выполняется автоматически (так как вручную провести ее невозможно) и при выключенном питании проверяемого устройства. Исходная информация для внутрисхемного тестирования – это электронная конструкторская документация (КД) изделия, т.е. файлы, созданные разработчиком в САПР при проектировании изделия. Нужно отметить, что технология внутрисхемного тестирования основана на работе с самыми обычными, стандартными файлами САПР, к которым не предъявляется каких-либо особых требований, кроме, конечно, соответствия правилам проектирования в этой САПР. На основе этих файлов компьютер автоматотестирующего вырабатывает алгоритм проверки изделия, причем это происходит автоматически, без участия человека (хотя при необходимости можно и вмешаться в этот процесс). Обычно в первую очередь проверяется соответствие всех электрических связей КД, затем – отсутствие коротких замыканий между ними. Далее автомат последовательно определяет номиналы всех компонентов, установленных на плате, и сравнивает полученные значения с указанными в перечне компонентов. Для этого автомат анализирует схему и определяет способ измерения с учетом того, что нужный компонент могут шунтировать другие компоненты. Таким образом проверяются номиналы резисторов, конденсаторов, индуктивностей, коэффициенты передачи транзисторов, трансформаторов, падение напряжения на диодах и т.д.

Если стратегия внутрисхемного тестирования верна, по его результатам уже можно дать заключение о том, будет ли устройство работать корректно или нет. Поэтому функциональное тестирование изделия носит, скорее,

"психологический" характер для разработчиков. Однако может получиться так, что, несмотря на успешно пройденные внутрисхемные тесты, устройство не работает. В таком случае необходимо проводить дополнительные внутрисхемные тесты. Определять же неисправности по результатам функционального тестирования дорого и сложно – ведь, включив устройство, мы не получаем никакой информации о том, почему оно не работает, в то время как внутрисхемное тестирование укажет на неисправный компонент или цепь.

Но что делать, если внутрисхемное тестирование подтверждает полное соответствие КД, а функциональная проверка показывает, что изделие не работает? Увы, тогда можно с чистой совестью говорить о конструкторской ошибке. Известны случаи, когда подобные ошибки выявлялись через несколько лет (!) серийного производства. Иной раз для того, чтобы найти неисправность, приходилось снимать изделие с производства. Используя внутрисхемное тестирование, несложно сравнить два изделия – работающее и нет – и выяснить, в чем между ними различие. Так можно, например, обнаружить, что номиналы каких-то компонентов выходят за пределы допусков.

ТЕХНОЛОГИИ ВНУТРИСХЕМОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Распространение методов автоматической проверки привело к появлению принципиально новых технологий тестирования, которые сложно или невозможно реализовать вручную. Метод **измерения узловых импедансов** изначально должен был лишь ускорить процесс тестирования, но с появлением точных измерителей малых реактивных сопротивлений появилась возможность предсказания неисправностей – определения потенциально ненадежных мест в схеме. Например, при монтаже микросхемы случайное воздействие статического электричества на одном выводе привело к изменению характеристик защитного диода, и микросхема, которая не вышла из строя и прошла все стандартные проверки, может отказать через несколько лет работы. Потенциальные опасности такого рода можно обнаружить только с помощью точных измерений. Такие технологии применяются сейчас по всему миру и благодаря им удастся создавать изделия крайне высокой степени надежности, в первую очередь, для ответственных применений.

Для электрической проверки скрытых соединений, таких как выводы микросхем BGA, применяется технология **Electro Scan**. Напротив кристалла микросхемы помещается бесконтактный датчик, генерирующий переменное электрическое поле, и щупом определяются цепи, ведущие к скрытым контактам. Иными словами, выполняется прозвонка цепей переменным током через емкостное сопротивление малого значения. Таким образом проверяются не только паяные соединения, но и цепи внутри корпуса микросхемы.

Периферийное сканирование (JTAG) часто используется для программирования микросхем, но не все знают, что это всего лишь побочная возможность интерфейса электрического тестирования. Периферийное сканирование – самый бюджетный способ проверки, но он применим только для цифровых микросхем. По действующему соглашению между производителями электронных компонентов все современные цифровые микросхемы имеют тестовый интерфейс JTAG. Он позволяет использовать микросхему как генератор и приемник тестовых сигналов (ядро микросхемы при этом отключается от выводов), управлять процессом тестирования и передавать информацию в компьютер, где она обрабатывается специальным программным обеспечением. Детальный рассказ об интерфейсе JTAG выходит за рамки этой статьи, более подробно о нем можно узнать, например, из статьи Н.Кольского "Интерфейс JTAG: тестирование плат, программирование и отладка" (Печатный монтаж, 2009, №1, с.36-40).

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

По механизму работы автоматы-тестирующие делятся на два основных типа – автоматы адаптерные и с "летающими" пробниками. Недостатки адаптерных тестеров очевидны: каждая цепь на плате должна иметь тестовую контактную площадку и для конкретного изделия необходим свой, специальный адаптер, который будет подходить под контактные площадки. Не все изделия позволяют вводить в конструкцию контактные площадки; не всегда можно сохранить топологию этих площадок при изменении или модернизации платы – это влечет за собой необходимость смены адаптера. Имея сравнительно низкую стоимость и несколько выигрывая в скорости, адаптерные

тестеры выгодно использовать при крупносерийном производстве изделий, вносить изменения в конструкцию которых не планируется (т.е. в которых заведомо нет конструкторских ошибок).

Автоматы с "летающими" пробниками не имеют таких недостатков. Они не предъявляют к изделиям каких-либо особых требований. Современные автоматы такого типа могут "попадать" в контактные площадки компонентов типоразмера 01005. Понятно, что такие автоматы разумно использовать на многономенклатурных производствах.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

Система качества – это совокупность организационных структур, ответственности, процедур и ресурсов, направленное на административный контроль качества продукции. Под ресурсами имеются в виду технические средства контроля качества. Если в качестве ресурсов рассматривать персонал предприятия, то их заведомо не будет хватать для настройки изделий, ведь, даже несмотря на опыт работы, человек сам по себе не может обрабатывать большие объемы статистических данных. Работа системы качества неразрывно связана со статистическими данными (вероятность безотказной работы, процент отказа и т.д.), и привлекать для их анализа и обработки человека хоть и можно, но бесполезно. Несмотря на то, что компьютерный интеллект невозможно (по крайней мере, на сегодняшний день) сравнивать с человеческим разумом, у электронного тестировщика есть одно важное преимущество – память. Компьютер может обратиться к базе данных и выяснить, какой дефект был найден несколько лет назад в плате с определенным номером, сколько дефектов было в этой партии и что это за дефекты, выполнить какие-либо статистические расчеты по этим данным и предупредить о возможном выходе параметров компонентов за пределы допусков.

ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ

В прошлом, когда производители электроники не сталкивались с контрафактными компонентами, входной контроль подразумевал проверку внешнего вида и документации. Наличие штампа военной приемки и соответствующих документов было залогом того, что компонент произведен в соответствии со стандартами.

При этом, конечно, была вероятность брака, его исключение и было задачей входного контроля.

В наши дни, к сожалению, наличие документов не значит ничего и "классический" входной контроль, по сути, стал бесполезен. Дополнительно ситуацию осложнили особенности технологии поверхностного монтажа. Компоненты для него отличаются от штыревых не только внешне, но и упаковкой, которая оптимизирована для автоматического монтажа и затрудняет проведение входного контроля. Более того, дефектный (или некачественный контрафактный) SMD-компонент нельзя обнаружить по отклонению номинала от заявленного значения – его дефекты проявляются во время монтажа. Штыревые компоненты при пайке подвергаются лишь локальному нагреву в области выводов; поверхностный же монтаж – это жесткое испытание для компонентов, которые должны целиком прогреться до высокой температуры. Некачественные компоненты часто не переносят этого испытания, они либо ломаются механически, либо их номинал уходит за пределы допусков. Из этого следует, что входной контроль для изделий поверхностного монтажа следует переносить (как ни странно это звучит) на выход, т.е. проводить тестирование уже смонтированных плат.

Важно также иметь в виду, что входной контроль, независимо от того, как и когда он проводится – перед монтажом или после – это ни в коем случае не проверка комплектующих. Это оценка поставщика компонентов. Задача входного контроля – не допустить проникновения некачественных компонентов в производственный процесс. Производители обычно указывают в документации допустимый процент брака в партии, эта величина, как правило, очень маленькая, порядка одного дефектного изделия на миллион-два. При превышении этой цифры вся партия компонентов не должна идти в производство. И, обнаружив брак или контрафакт, нельзя заниматься сортировкой годных компонентов, необходимо предъявить претензии поставщику этих компонентов и, возможно, задуматься о поиске новых поставщиков с хорошей репутацией. Технологии современной электроники таковы, что сделать в одной партии и качественные, и некачественные компоненты нельзя. Если часть компонентов, например, микросхем, отказала, то можно с уверенностью говорить, что рано или поздно откажут

все остальные микросхемы из этой партии. Может случиться так, что компоненты окажутся вообще из разных партий, в этом случае их происхождение неясно и использованию они также не подлежат.

КОНТРАФАКТ И КАК ЕГО НАЙТИ

Классифицируя контрафактные компоненты по их качеству и надежности (точнее, отсутствию таковых), можно прийти к парадоксальному на первый взгляд выводу: самые "опасные" контрафактные компоненты – это те, которые работают и по всем параметрам выглядят нормально, иной раз даже лучше оригинала. Дело в том, что полностью фальшивые компоненты (корпуса-пустышки или перемаркированные) легко выявляются при тестировании изделия; наличие отбракованных компонентов, проданных под видом годных изделий, определяется при испытаниях, например, климатических. И в итоге изделие с такими компонентами не выходит за ворота предприятия. Но если контрафактные компоненты не были распознаны во время проверок и испытаний (т.е. они прошли все тесты и формально в массе с остальными компонентами были признаны годными), то они становятся "слабым звеном" в изделии, которое может отказать в любой момент, – ведь неизвестно, что внутри у контрафактного компонента и какой фактор окажется для него фатальным. Например, один из распространенных видов контрафакта отечественных компонентов – это дешевый кристалл китайского производства, кое-как установленный в дорогой корпус. Он отлично проходит все электрические тесты, но не выдерживает механических воздействий.

Для того чтобы выявлять такие "коварные" контрафактные микросхемы, была разработана технология не прямых электрических измерений, основанная на идентификации микросхемы по принадлежности к конкретному производителю, причем тип микросхемы для этой проверки совершенно не имеет значения. Современные полупроводниковые технологии настолько точны и повторяемы, что по ряду электрических параметров микросхемы можно точно выяснить ее происхождение – эти параметры повторяются как отпечатки пальцев во всех изделиях конкретного производителя. Например, одна из таких величин – падение напряжения на защитных диодах. В микросхемах одного производителя оно может быть равно

781 мВ, другого – 785 и т.д. Используя точные измерители этих параметров, можно безошибочно рассортировать неизвестные микросхемы по производителям и обнаружить подделки. У этой технологии лишь один недостаток – перед началом проверки необходимо знать значения этих величин, т.е. иметь оригинальные микросхемы как образцы или же проверенные данные по параметрам микросхем.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Благодаря автоматизации цеха современных заводов по производству электроники выглядят довольно безлюдными. Требования к количеству работников снизились, но к их качеству (т.е. профессионализму), наоборот, повысились. Для предприятий нашей страны проблема квалификации персонала, в особенности операторов оборудования, пожалуй, самая главная. Наши вузы не готовят специалистов по работе с автоматическим оборудованием. Разработчики и конструкторы не знакомы с особенностями автоматов и, как следствие, не могут использовать возможности новых технологий. В качестве примера можно рассмотреть разработку изделия с программируемыми микросхемами. Если разработчик не знает, что современные тестовые автоматы могут программировать микросхемы (а это одна из их стандартных функций), он будет по старинке программировать ее "на столе" и потом монтировать уже прошитую микросхему, чего категорически делать нельзя.

Подводя итог, хочется еще раз сказать, что умение пользоваться современными технологиями позволяет создавать уникальные по надежности изделия. За примерами далеко ходить не надо – достаточно вспомнить триумфальные миссии американских марсоходов, которые работали в несколько раз дольше, чем планировалось изначально. Для создания электронных блоков, способных работать при воздействии космического излучения, разработчики НАСА использовали технологию внутрисхемного тестирования. Многократно облучая платы небольшими дозами ионизирующего излучения, они измеряли параметры компонентов и по этим данным строили кривые деградации для каждого компонента. В итоге были созданы совершенно нечувствительные к излучению приборы. И это стало возможным именно благодаря новым автоматическим технологиям тестирования. ●

