

Некоторые особенности конструирования электронной аппаратуры, обусловленные современными технологиями серийного производства

Андрей НАСОНОВ
Andrey.Nasonov@ostec-smt.ru

Основная часть производимой и реализуемой в настоящее время электронной аппаратуры — это изделия серийного и массового производства. Высокий уровень конкуренции вынуждает постоянно снижать их себестоимость. Массовое появление на рынке более дешевых товаров в свою очередь выводит конкурентную борьбу на следующий, «более жесткий» виток. Выяснение вопроса — снижение себестоимости подстегивает конкуренцию или конкуренция заставляет ее снижаться — это дело, безусловно, интересное, но выходящее за рамки этой статьи. Нам же остается только принять то, что конкуренция заставляет производителя постоянно балансировать в узких рамках соотношения цена/качество, и рассмотреть вопрос, за счет чего можно выиграть в этой гонке.

В значительной мере снижение издержек достигается за счет автоматизации всех этапов производственного процесса. Это справедливо как для дешевых и массовых изделий, так и для мелкосерийных и дорогих. Просто в случае изделий мелкосерийных и, как правило, имеющих более высокие требования, например по надежности, цена обеспечения этих требований без использования автоматизации может оказаться недопустимо высокой.

Следовательно, должны отличаться подходы к выбору конкретных технологий. Для мелкосерийного производства необходимы технологии пусть более медленные в работе, но требующие более простую, а значит более дешевую подготовку производства. Для изделий массовых вполне допустима дорогостоящая подготовка с изготовлением специализированной оснастки.

Хотя не очень корректно анализировать отдельные этапы производственного процесса в отрыве от остальных, для начала рассмотрим вопрос автоматизации электрического тестирования печатного узла. Проще говоря, вопрос замены наладчика автомата. Необходимо принять во внимание, что в длинном перечне недостатков, как то высокая зарплата, дефицитность, субъективность подхода, большой срок обучения, у наладчика есть одно преимущество — способность к творческому анализу. Эта способность незаменима, если разработка выполнена на низ-

ком техническом уровне, и разработчик не задумывался о процессе наладки и тестирования, а также о соответствующем оборудовании. Напротив, при хорошо построенном производстве склонность к творчеству может оказаться недопустимой. К тому же, автоматические средства тестирования обладают набором ряда технологий, которые наладчику просто не доступны. Как бы то ни было, для того, чтобы в полной мере реализовать преимущества, которые несет автоматизация, необходимо закладывать все не-

обходимое для нее еще на этапах разработки принципиальной схемы и конструкции платы.

Перед тем как формулировать требования к схемотехнике и конструкции печатного узла по критерию пригодности к автоматическому тестированию, познакомимся с возможностями современного оборудования. Следует оговориться, что в рамках журнальной статьи возможно только поверхностное и далеко не полное ознакомление с ними. Для практического использования необхо-

Таблица. Технические характеристики инструментальных средств измерений

Скорость тестирования	Одиночный тест	20 тестов в секунду
	Суммарная	50 тестов в секунду
Пределы измерений компонентов при внутрисхемном тесте	Резисторы	0,001 Ом ... 100 МГОм 1%
	Конденсаторы	5 пФ ... 1Ф 10%...1%
	Индуктивности	10 мкГн ... 10 Гн 10%
	Диоды, светодиоды, стабилитроны	Uпр /Iпр, Iобр /Uобр, Uст /Iст, Uпр /Iпр
	Биполярные транзисторы	Uкз нас., Uбз нас., Iкз о, статический коэффициент передачи тока h21э
	Полевые транзисторы	РСИ, УЗИ(пор), IC(нач)
	Короткие замыкания	Стандартный тест измерения сопротивления, измерение узловых импедансов
	Трансформаторы	Сопротивление, индуктивность, направление намотки обмоток, коэффициент трансформации
Тест с подключением питания	Источники питания постоянного напряжения	2×5 В 5 А 2×12 В 2 А, 2×15 В 2 А 2×12 В 2 А, 2×24 В 2 А
	Программируемые по току и напряжению источники питания	0–6 В 10 А 0–6 В 30 А 0–30 В 5 А 0–30 В 3 А 5–100 В 15 А
Программное обеспечение	управляющего компьютера	Windows NT
	тестового оборудования	ATOS2 Fly

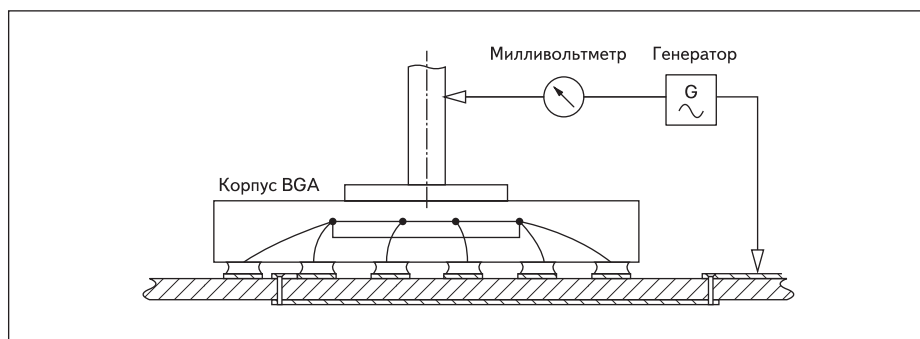


Рис. 1. Принцип измерения методом ELECTRO SCAN

дима детальная информация, получить которую можно у официальных представителей производителей оборудования.

Итак, на что способно современное оборудование?

Без подачи питания легко осуществляется тотальная проверка платы, в ходе которой проверяется:

- отсутствие коротких замыканий;
- целостность цепей;
- соответствие номиналов установленных пассивных компонентов (резисторов, конденсаторов, индуктивностей) указанным в конструкторской документации на изделие;
- соответствие параметров установленных полупроводниковых компонентов: диодов, транзисторов, тиристоров, стабилитронов, и т. д.

Какого рода измерения осуществляются, можно оценить, проанализировав параметры измерительных средств, которые имеет одна из лучших установок для тестирования типа «летающие пробы» SPEA 4040 (www.ostec-smt.ru), они представлены в таблице.

После того как система определила, что плата и установленные на ней компоненты исправны, возможна проверка с подачей питания.

При подаче от системы питания и сигналов на плату осуществляется контроль работоспособности всех активных компонентов и платы в целом.

Если обнаруживается неисправность, то установка выдает информацию о ней в виде прямых указаний: «КЗ между выводом 3 DD1 и выводом 6 DD5», «не исправна DA3» и т. д. Аппаратного ограничения уровня детализации практически не существует. Все определяется полнотой информации, заложенной в техническую документацию на плату, и желанием пользователя.

Возможно возникновение трудностей при тестировании плат, содержащих микросхемы в корпусах BGA, μ BGA, QFN и других, где доступ к выводам микросхем невозможен. Тут применим метод ELECTRO SCAN. Принцип измерения при этом методе проиллюстрирован на рис. 1.

«Прозвонка» выводов осуществляется через емкостную связь между плоским щупом и кристаллом микросхемы. Единственное ограничение этого метода состоит в том, что корпус микросхемы должен быть неметаллическим.

В ряде случаев может использоваться технология тестирования по методу узловых импедансов. При ее использовании время тестирования снижается в среднем на 40%. Измерение импеданса производится с помощью DSP сигнального процессора, точность измерения емкостной составляющей, например, до 0,1 пФ. Принцип измерения проиллюстрирован на рис. 2.

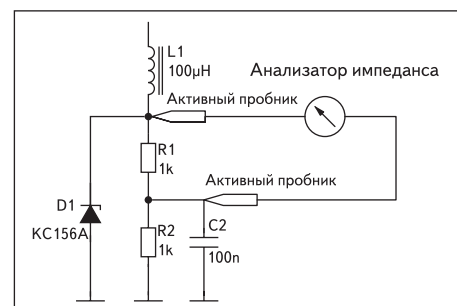


Рис. 2. Принцип измерения методом узловых импедансов

По способу контактирования с проверяемым устройством установки бывают, как уже упоминалось, типа «летающие пробы» (SPEA 4040) и адаптерного типа с полем тестовых штырей (SPEA 3030). Что из себя представляют эти установки, показано на рис. 3–6.

В системе электрического контроля с «летающими пробами» SPEA 4040 имеется система оптической инспекции, которая помимо функции координирования платы проверяет наличие компонентов, соответствие их маркировки и правильность установки. По сути это встроенная оптическая инспекция, которая обычно в процессе производства осуществляется с помощью отдельной установки. Наличие ее в составе SPEA 4040 позволяет организовать оптическую инспекцию

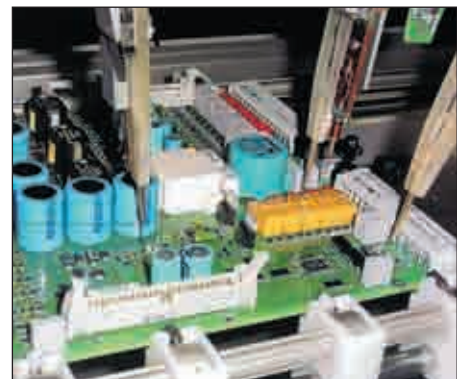


Рис. 4. Способ контактирования в установке с «летающими пробами» SPEA 4040



Рис. 3. Система электрического контроля с «летающими пробами» SPEA 4040



Рис. 5. Система внутрисхемного и функционального электрического контроля адаптерного типа SPEA 3030

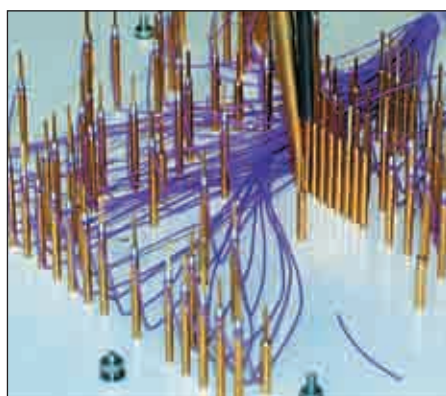


Рис. 6. Контактное поле «ложе гвоздей»

и электрический тест с помощью одной установки. В тех случаях, когда не требуется высокая скорость, подобное решение экономически очень привлекательно.

Предлагается рассмотреть особенности подхода к конструированию с позиций различных участников процесса разработки, производства и реализации изделий электронной техники.

Подход разработчика

Качественно выполненная разработка должна содержать полный пакет конструкторской и технологической документации, включая все необходимые для изготовления, проверки и настройки платы и файлы. Раз-

работчик должен создать методики проверки и настройки и заложить в технологическую документацию изделия все нужное оборудование.

Если в прошлом веке конструктор сам разрабатывал стенды для настройки своего изделия, то в настоящее время в этом нет нужды. Более того, из-за возросшей функциональной сложности изделий это задача непростая и часто трудновыполнимая. Особенно, если необходим высокий уровень автоматизации производства, предусматривающий, в том числе, автоматический способ загрузки и позиционирования платы.

Исходя из предполагаемой серийности, выбирается способ контактирования. Если изделие мелкосерийное, то целесообразно использование установки с «летающими пробами». Проверка крупносерийного изделия, конечно, на ней также возможна, но если изготовить специализированный адаптер типа «ложе гвоздей», то время на проверку значительно сократится.

Разработчик должен рассчитать время, необходимое для проверки одной платы, и принять меры для того, чтобы этап настройки изделия не тормозил весь технологический процесс.

Представляется целесообразным продумать вопрос об облегчении контактирования с платой при проверках. Современные технологии позволяют обходиться без специальных контактных площадок. Однако если их предусмотреть и разумно расположить, то,

например, при использовании «летающих проб» можно существенно сократить время на проверку. Благодаря высокой точности тестового оборудования место на плате под них минимально. Например, SPEA 4040 позволяет использовать площадки с шагом 100 мкм. Это означает, что на 1 кв. мм размещается 100 контактных площадок. Понятно, что при таком компактном расположении «летающие пробы» пробегут их очень быстро. Если используется вариант «ложе гвоздей», то наличие на плате специально выделенных площадок в значительной мере увеличивает надежность контактирования и удешевляет адаптер. При разработке платы под «ложе гвоздей» в отличие от «летающих проб» имеет смысл, наоборот, стремиться к максимальному размещению контактных площадок. Это позволит применить пробы большего размера, а значит, более надежные и дешевые. Пробы для адаптеров являются покупным изделием и различаются по электрическим и механическим характеристикам. По размерам пробы нормируются через шаг установки. Номенклатура проб достойна отдельного рассмотрения, но некоторое представление о ней можно составить на примере изделий фирмы Ingan, представленных на рис. 7 и 8.

Самым разумным подходом представляется одновременная разработка платы и тестового адаптера для нее.

Для обеспечения тестопригодности следует применять включение в схему изделия технологической, электрически перепрограмми-

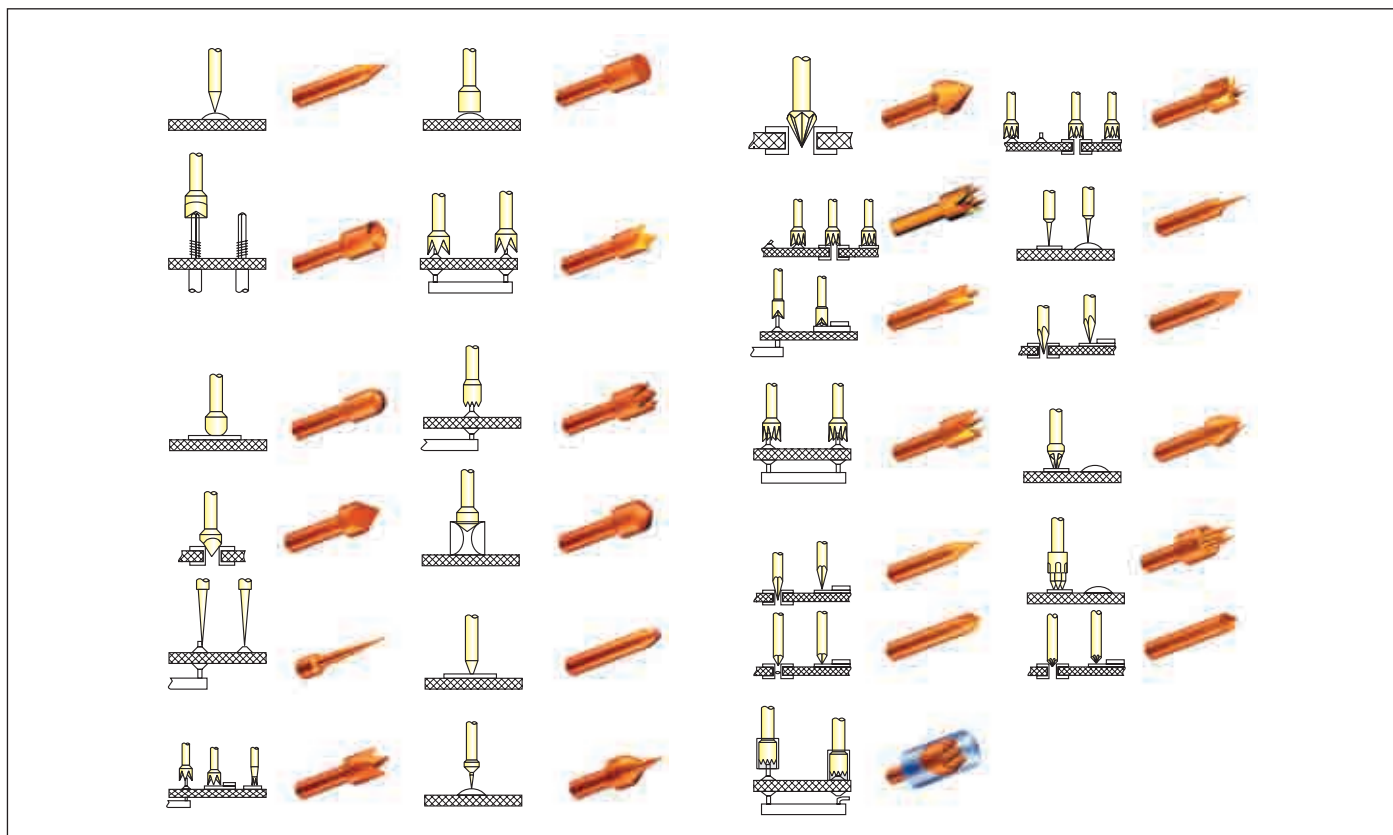


Рис. 7. Номенклатура проб для адаптеров



Рис. 8. Внешний вид проб фирмы Ingan

руемой памяти EEPROM. Это запоминающее устройство, которое:

- содержит информацию о серийном номере платы и изделия;
- накапливает информацию о прохождении по этапам технологического процесса;
- содержит информацию о версии программного обеспечения изделия;
- используется для идентификации платы автоматическим оборудованием;
- фиксирует время наработки в процессе эксплуатации изделия;
- фиксирует отклонения от режимов эксплуатации.

Для указанных целей может быть использована часть объема EEPROM самого изделия, если таковая имеется. Наличие технологической EEPROM является, по сути, техническим обеспечением решения большого круга организационных вопросов.

Все возможные проблемы, безусловно, мы сейчас не осветим. Однако хотелось бы осо-

бо отметить, что если осуществляется разработка на уровне более высоком, чем кружок «Умелые ручки», то надо понимать, что заказчик хочет получить не просто набор схем и чертежей, а комплекс всего того, что необходимо для организации рентабельного производства заказанного изделия.

Подход руководителя предприятия

Руководитель, прежде всего, на основании информации о типе и серийности выпускаемой продукции должен выработать стратегию оснащения предприятия средствами электрического тестирования. Совершенно нерационально решать вопросы технологической оснащенности по мере их возникновения. Такой подход гарантирует повышенные затраты и постоянное наличие проблем. Для минимизации затрат необходим комплексный и плановый подход. Параллельно необходимо решать вопросы подготовки кадров. И на основе выбранной стратегии сформулировать требования к новым разработкам, предъявляемым к постановке на производство.

Подход заказчика разработки

Заказчик разработки как лицо, наиболее заинтересованное в рентабельности всего проекта в целом, еще до выдачи технического задания должен решить ряд вопросов, а именно:

- выбрать разработчика, убедившись в его способности создать весь комплекс технологической документации, включая способы и средства тестирования;
- выбрать производителя, учитывая имеющееся у него оборудование для электрического тестирования;
- сформулировать техническое задание, четко обозначив все требования, необходимые для разработки способов и выбора средств электрического тестирования.

Подход специалиста, занятого реализацией изделий электронной техники

Поскольку деловая репутация продавца напрямую зависит от качества реализуемой продукции, следует обращать внимание на то, какому уровню тестирования подвергалось изделие в процессе производства. Надо отдавать себе отчет, что надписи типа «соответствует стандарту MIL-STD 810F» означают вполне конкретный объем тестирования в процессе производства и являются свидетельством определенного уровня качества.

В заключение хочется отметить, что электрическое тестирование это, прежде всего, средство обеспечения качества выпускаемой продукции. Используемые технологии позволяют не только обнаружить и локализовать неисправности, но и обнаружить предпосылки к их появлению в процессе эксплуатации. ■