



ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОБРАННЫХ ПЕЧАТНЫХ МОДУЛЕЙ

Николай Клюквин
info@ostec-smt.ru

Обеспечение высокого качества выпускаемой продукции является важнейшей задачей производства и невозможно без комплексного подхода к этому вопросу. В зависимости от сложности изделия, проработанности технологических процессов, объемов производства и требований к изделиям, необходимо сочетание различных видов контроля, которые должны охватить все возможные дефекты, свести выход бракованных изделий к минимуму, при этом обеспечив быстрый поиск и гарантированную локализацию дефектов за минимальное время.

Большинство критериев качества, которыми оперируют технологи, обычно связаны с внешним видом изделия. Например: наличие компонента, его смещение, маркировка, качество паяного соединения. Это важные, но все же косвенные критерии. По сути получается, что если при сборке печатного узла не допущено производственных (визуальных) дефектов, или они были вовремя замечены и устранены, то печатный узел имеет надлежащее качество. Однако это субъективная оценка, отражающая обычно лишь позицию сборочного участка производства. Кроме видимой стороны, связанной с внешним видом собранного модуля, есть и другая сторона – его внутренняя структура, состояние

Обеспечение высокого качества выпускаемой продукции является важнейшей задачей производства и невозможно без комплексного подхода к этому вопросу

которой фактически определяет пригодность изделия для выполнения заложенных в него функций в течение всего срока эксплуатации в соответствующих условиях. Эта сторона характеризуется электрическими параметрами, которые зависят от следующих факторов:

- качества печатной платы и установленных компонентов;
- строгого соблюдения технологических процессов сборки модуля;
- наличия скрытых дефектов в виде коротких замыканий и раз-

рывов, дефектов паяных соединений;- целостности внутренней структуры компонентов.

Очевидно, что только визуальная оценка качества изделия является явно не-

достаточной и ненадежной.

Не секрет, что с качеством поставляемых компонентов бывают проблемы, но обеспечение сплошного входного контроля всех компонентов сложная задача как в техническом плане, так и по экономическим соображениям. Данная операция достаточно трудоемка, потому что современные компоненты миниатюрны, герметично упакованы, и есть большая вероятность их повреждения до монтажа. Кроме того, при нарушении режимов пайки (оплавления в печи) существенно возрастает риск выхода компонентов из строя, что может сводить на нет эффективность такой проверки. Можно ли считать, что производится изделие с гарантированным качеством, если нет представления и подтверждения его фактического внутреннего состояния?

Традиционно, еще с советских времен, у нас в стране сложилась ситуация, когда основной упор при проверке качества изделия возлагался на функциональный контроль. Все скрытые технологические дефекты и дефекты компонентов выявлялись на этапе наладки и настройки изделия.

Однако при таком подходе большая часть времени уходит не на проверку реальной работоспособности изделия во всех режимах, а на поиск и локализацию дефектов, не позволяющих изделию функционировать в соответствии с заданными требованиями. Статистика говорит, что 90% времени уходит именно на поиск и



Рис. 1 Комплексный подход к процессу контроля качества

локализацию неисправности и только 10% - на устранение самого дефекта. Это в среднем, но дефект можно найти и за пять минут, а можно и неделю потратить так и не достигнув результата. Таких примеров множество и на каждом предприятии есть своя «кладовая» с безнадежными изделиями. Об экономическом аспекте, связанном с потерей времени, трудозатратах высококлассных специалистов, их дефиците в настоящее время можно даже не упоминать...

Согласитесь, что было бы очень хорошо, если бы на этапе наладки и функционального контроля изделие попадало с гарантированным качеством сборки и отсутствием дефектов. Тогда на этапе функционального контроля осуществлялась бы лишь необходимая настройка изделия (при необходимости) и подтверждение его функциональных качеств.

Существуют и другие важные моменты, на которые стоит обратить внимание.

Подача рабочего напряжения на изделие, внутреннее состояние которого не определено, по сути, игра в рулетку или так называемая проверка «на дым». Шанс внести вторичную неисправность от наличия, скажем, скрытого короткого замыкания в какой-либо цепи на шину питания достаточно велик. Если у Вас массовое производство, то после такой «проверки» изделие обычно идет «в лом», ибо стоимость поиска и устранения неисправности будет дороже самого изделия. Если же у Вас мелкосерийные и дорогостоящие изделия, то наладчик должен подумать, прежде чем подать питание, и, возможно, проверит хотя бы шины питания, но обычно не более, потому что возможности прозвонки цепей вручную сильно ограничены.

Но даже если после подачи питания модуль и заработал, то лишь потому, что в «тепличных» условиях проверки параметр компонента, который «увело» при пайке, еще находится на границе зоны работоспособности. Но знаете ли Вы об этом? Можно ли гарантировать работоспособность этого модуля в суровых условиях заказчика? А что может произойти, если данный модуль отвечает за определенную степень безопасности?

Следующая ситуация: перепутали ленту на питателе установщика компонентов. Компонент без маркировки. С момента начала и до фиксации момента выпуска несоответствующей продукции может пройти много времени. Сколько продукции окажется забракованной? А какова стоимость устранения данного дефекта? Такой же случай с вариацией: некачественная партия компонентов. Известна аксиома - пропуск дефекта на следующий этап сборки увеличивает стоимость локализации и устранения дефекта в десять раз.

Очевидно, что подобных ситуаций можно привести достаточно. Становится ясно, что задачу обеспечения качества выпускаемой продукции и своевременной локализации внутренних дефектов только лишь функциональный контроль не решает. Функциональный контроль позволяет Вам только предположить, что если изделие работоспособно в данный момент, то оно, ВОЗМОЖНО, будет работоспособно и в дальнейшем. И это все без каких-либо гарантий, но со всеми описанными выше последствиями.

Появление всех вышеприведенных ситуаций исключено при использовании систем внутрисхемного электрического контроля, обеспечивающих большую информативность о реальном качестве изделия и его внутренней структуре. Внедрение внутрисхемного контроля практически гарантирует прохождение изделием этапа функционального контроля. Рассмотрим внутрисхемный контроль более подробно.

Внутрисхемный контроль является высокоэффективным средством диагностики и локализации технологических дефектов и дефектов компонентов. На этапе внутрисхемного контроля осуществляется проверка печатного узла на наличие коротких замыканий, целостность цепей, параметрический контроль дискретных компонен-

тов, структурный тест. Данный контроль происходит без подачи питающих напряжений на проверяемый модуль. Результат контроля - гарантия того, что печатный модуль собран правильно, установленные компоненты исправны, отсутствуют короткие замыкания, модуль имеет структурную целостность. Следуя логике, только после этапа внутрисхемного контроля мы имеем право подать рабочее напряжение питания на тестируемый модуль с гарантированным отсутствием возможности внесения вторичных неисправностей из-за наличия технологических дефектов и дефектов компонентов.

Важно отметить, что электрический контроль не является единственным средством технологического контроля, а средством, которое дополняет другие виды и является логическим их продолжением, локализуя дефекты, которые другой контроль производственных дефектов физически не в состоянии обнаружить (например, перепутан номинал компонента до деградации компонента в процессе оплавления). Также и электрический контроль не оценивает качество паяных соединений (в отличие от оптического и рентгеновского контроля), а лишь констатирует, что электрический контакт в данный момент есть или нет. Внутрисхемный контроль не подменяет функциональный контроль, а обеспечивает гарантированные условия для его успешного выполнения. Выполняя этап внутрисхемного контроля, мы снимаем с этапа наладки или функционального контроля проблемы поиска и устранения производственных дефектов, на которые по статистике уходит до 90% времени наладчика. Тем самым высвобождаются ресурсы (время, люди) которые можно направить на проведение более тщательного функционального контроля, выполнение настройки и других операций, если они необходимы, что, в конечном итоге, приведет к росту качества выпускаемой продукции и

Статистика говорит, что 90% времени уходит именно на поиск и локализацию неисправности и только 10% - на устранение самого дефекта

Таблица 1 Сравнение возможностей внутрисхемного и функционального контроля

	Внутрисхемный контроль	Функциональный контроль
Степень локализации дефектов	Высокая	Низкая
Контроль на короткие замыкания и целостность цепей	Высокий уровень	Нет
Контроль параметров компонентов	Высокий уровень - Текущий номинал - Допустимый диапазон - Анализ деградации	Нет
Контроль структурной целостности	- Высокий уровень	Нет
Необходимость подачи питания на изделие и возможность внесения вторичных неисправностей	Нет, отсутствует	Да, высокая
Информативность, накопление статистической информации и анализ, прогнозирование отказов	Высокий уровень	Низкий
Прохождение модуля со скрытыми дефектами на следующую производственную стадию	Низкий	Высокий
Себестоимость локализации и устранения выявленных дефектов (персонал, время)	Низкая	Высокая
Скорость реакции на выявленное отклонение в технологическом процессе	Высокая	Низкая
Возможность быстрой локализации дефектов на рекламационных модулях	Высокая	Низкая
Степень контроля общей работоспособности	Низкая	Высокая



снижению стоимости ремонтов. В таблице приведены возможности внутрисхемного и функционального контроля.

Существует еще один полезный аспект от внедрения на производстве стадии внутрисхемного контроля, о котором часто забывают. Современные тестовые системы документируют всю информацию о каждом тестируемом изделии и имеют развитые средства статистической обработки информации. А статистика, как известно, мощное средство в борьбе за качество. Собирая и анализируя эту информацию, можно делать выводы о различных аспектах производственных процессов. Например, квалифицировать производителей компонентов и поставщиков, выявлять процессы, требующие более пристального внимания и контроля. При возврате неисправных изделий логично направлять их сразу на внутрисхемный контроль с последующим сравнением результатов тестирования при производстве и текущего состояния, анализировать причины изменения характеристик и выявлять закономерности. Такая обратная связь позволит оперативно реагировать на дефекты, возникающие впоследствии у потребителя, и принимать упреждающие меры для их предотвращения. Если дефект, возникший у потребителя, не поддается выявлению текущими средствами, то проводится глубокий анализ причин его возникновения и делается тест (тестовый вектор) для выявления данного дефекта еще на производственной стадии. Таким образом, Вы постоянно держите руку на пульсе качества, не допуская возможности повторения дефекта.

С другой стороны, известно, что наличие квалифицированных кадров – одна из основных проблем сегодняшнего дня. При уходе работника, который накопил определенный опыт в работе с изделием, мог быстро локализовать и устранить дефект, весь его багаж знаний и навыков пропадает. Своевременная отработка выявленных дефектов на уровне тестовых программ позволит оставить после ухода наладчика хорошую базу, в которой человеческий фактор будет минимизирован. Кроме того, уменьшается и количество необходимых инженерных ресурсов, занятых непроизводительными функциями.

Внедрение внутрисхемного контроля еще лет 15 назад было связано со многими трудностями, в числе которых необходимость в специальном оборудовании, сложности в изготовлении адаптеров, необходимость их замены при проведении модернизации изделия. Особенно это было актуально в условиях мелкосерийных и многономенклатурных производств – собственно, для всей оборонной отрасли. Все эти аспекты не способствовали распространению в нашей стране данной технологии контроля.



Рис. 2 Система электрического контроля с летающими пробниками

Внутрисхемный контроль является высокоэффективным средством диагностики и локализации технологических дефектов и дефектов компонентов

Вместе с тем, в западных компаниях этап внутрисхемного контроля неотделим от всего технологического процесса сборки и рассматривается как высокоэффективное средство обеспечения качества

и минимизации издержек. Анализ показывает, что все совместные проекты по производству электроники в нашей стране всегда содержали и содержат технологический этап контроля

качества с использованием внутрисхемного контроля. Множество российских компаний стали внедрять данный вид контроля на своих производствах.

Развитие технологий и появление на рынке новых видов оборудования позволяет в настоящее время эффективно внедрять внутрисхемный контроль на производствах с различной серийностью и номенклатурой. Этому способствовало появление нового типа оборудования – систем электрического контроля с летающими пробниками.

Рассмотрим такую систему более подробно на примере линейки систем с летающими пробниками серии 4040 компании SPEA, которая является мировым лидером в данной области (рис. 2). Главное отличие подобных систем от систем адаптерного типа – отсутствие необходимости в адаптерном устройстве типа «ложе гвоздей». Доступ в каждую цепь на печатном модуле обеспечивается высокоскоростной системой позиционирования летающих пробников, которые в соответствии с тестовой программой выполняют контактирование с цепями на плате, необходимыми для выполнения заданного измерения (рис. 3). Последовательность таких измерений позволяет проверить весь печатный узел. В отличие от



Рис. 3 Летающие пробники в работе

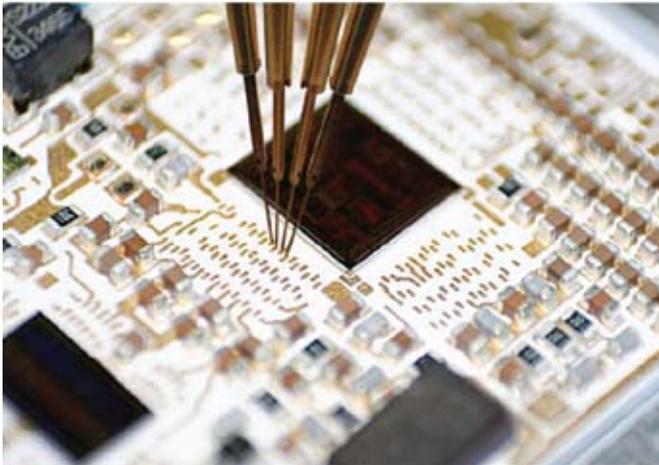


Рис. 4 Работа на керамической плате

систем адаптерного типа к печатному узлу не предъявляются жесткие требования по наличию специально предусмотренных тестовых площадок. Контактное соединение может выполняться в любые доступные открытые точки: галтели выводных компонентов, переходные отверстия, галтели поверхностно монтируемых компонентов. Высочайшая точность обеспечивает надежный контакт, а контролируемое усилие прижима позволяет проверять модули и на керамических основаниях (рис. 4).

Тестовая программа создается практически в автоматическом режиме на основе данных проекта файла топологии из системы проектирования, в которой печатный модуль был разработан. Оттуда система узнает о координатах всех компонентов, связях между ними и параметрах.

Различные алгоритмы измерений и мощный скоростной измеритель позволяют измерить все основные параметры компонентов, компенсировать влияние смежных компонентов, выполнить анализ на соответствие заданным значениям.

В зависимости от комплектации системы с летающими пробниками возможно, кроме внутрисхемного контроля, выполнить и необходимый функциональный тест с подачей питания, входных и снятием выходных сигналов. Доступно и внутрисхемное программирование.

Эффективность применения систем внутрисхемного контроля с летающими пробниками можно рассмотреть на двух реальных примерах, связанных с оборонной тематикой.

Выявления дефектов типа: не тот конденсатор, короткое замыкание (КЗ) или отсутствие компонента осуществляется достаточно просто и эффективно. Намного сложнее выявлять дефекты, связанные с микросхемной элементной базой, которая составляет сейчас львиную долю в разработках. При этом проблемы возникают как с отечественными компонентами, так и с импортными.

Одно из оборонных предприятий обратилось к нам со следующей проблемой. Выпуская электронные модули на отечественной элементной базе, они столкнулись с тем, что ряд модулей, прошедших контроль на специальных функциональных стендах, отказывались работать на реальном комплексе. И такие случаи появлялись регулярно, приводя к накоплению бракованных модулей, ремонт которых не давал результатов на протяжении нескольких месяцев. Нам предоставили два одинаковых модуля, один из которых был работоспособен, а второй нет, хотя на выходе контроле проблем выявлено не было.

Стандартный внутрисхемный контроль на установке SPEA 4040 (КЗ,

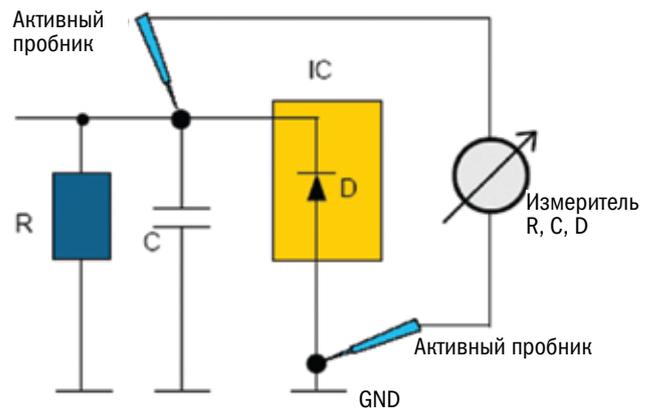


Рис. 5 Принцип технологии измерения узловых импедансов

обрывы, дискретные компоненты, непропаи) не выявил наличия дефектов.

Тогда было решено сделать внутрисхемный контроль с использованием технологии измерения узловых импедансов (рис. 5).

Данная технология позволяет измерять составляющие комплексного сопротивления цепей с точностью от 0.1pF с использованием специального измерителя на сигнальном процессоре. Применение данной технологии позволяет выявлять также все возможные короткие замыкания между цепями, даже если к ним нет доступа, и резко сокращать время тестирования.

Сравнение собранных данных с обеих плат показало, что существует ряд цепей на дефектном модуле, связанных с определенной микросхемой, где значения по емкостным составляющим сильно отличались от контрольных значений на исправном модуле.

Для подтверждения предположения микросхема на модуле была

исследована с помощью системы рентгеновского контроля. Сделанный рентгеновский снимок кристалла микро-

схемы наглядно дает представление о том, что с данным компонентом есть проблемы. Хорошо видно, что кристалл имеет отклонения даже по форме (рис. 6), к тому же оказалось, что отечественная микросхема серии 1533 была не только контрафактной, но и перемаркированной, что в наше время не редкость.

Перепайка данной микросхемы полностью восстановила работоспособность модуля.

Анализ ситуации показал, что именно используемая технология измерения позволила решить поставленную задачу за минимальное время, а система рентгеновского контроля выступила лишь в качестве независимого арбитра для подтверждения результатов. Решение подобной задачи стандартными подручными средствами просто физически невозможно из-за огромного числа измерений на плате и невозможности обеспечения их повторяемости. Используя только рентгеновскую установку, наш объект поиска остался бы недостижим, если бы кристалл микросхемы не имел отклонений по форме.

Следующий пример описывает выявление дефекта в изделии на современной элементной базе, поиск которого мог быть очень простым, если бы при разработке данного изделия использовались все возможности, заложенные в применяемой элементной базе.

Развитие событий было аналогично приведенному выше случаю, за исключением того, что модуль представлял собой уже высокотехнологичное изделие – современный вычислитель на базе программи-

Развитие технологий и появление на рынке новых видов оборудования позволяет в настоящее время эффективно внедрять внутрисхемный контроль на производствах с различной серийностью и номенклатурой

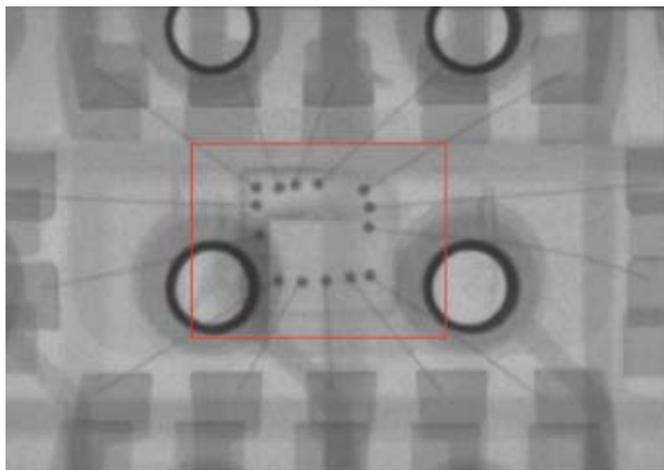


Рис. 6 Рентгеновский снимок кристалла контрафактной микросхемы

руемой логики и высокоскоростной памяти. Ситуация повторялась: несколько работоспособных модулей и несколько неработоспособных. Причем уровень неработоспособности был высшим – модули вообще не запускались. Производитель, обладая рентгеновской установкой, провел над каждым модулем не один час, всматриваясь буквально в каждый квадратный миллиметр паяных соединений и переходных отверстий. К сожалению, поиски результатов не дали, а на носу сдача очередной партии изделий заказчику. Мы взялись за решение проблемы. Анализ модуля показал, что лучшим средством контроля данного модуля могло бы стать использование технологии периферийного сканирования по JTAG-интерфейсу. При этом тестовое покрытие получалось очень весомым – более 80%. Заказные микросхемы на программируемой логике должны были поддерживать работу периферийного сканирования по стандарту IEEE 1149.1, что дало бы хорошие возможности для диагностики. Но на практике оказалось, что данные микросхемы идут без поддержки периферийного сканирования – об этом просто никто не подумал при их заказе у известного производителя (хотя нужно было всего лишь отметить соответствующий пункт в техническом задании).

Стандартные проверки результатов не дали, показав идентичность модулей.

Поэтому мы использовали технологию измерения узловых импедансов. Простое сравнение результатов тестирования

двух плат выявило отличия в значениях емкостей входных цепей, что указало на ряд микросхем памяти. Изучение

ситуации с выявленными микросхемами под рентгеновским контролем дало интересные результаты: у части выводов микросхем отсутствовала разварка на кристалл (рис. 7), хотя на точно таких же других микросхемах она была. Детальное изучение микросхем не выявило признаков контрафакта, но поставило под сомнение качество закупленной партии микросхем. Перепайка дефектных микросхем сделала изделия работоспособными.

Это только несколько примеров эффективного применения систем электрического контроля с летающими пробниками SPEA 4040, демонстрирующих далеко не все её возможности. Надеемся, что приведенная информация позволит Вам взглянуть на вопросы обеспечения качества и повышения эффективности производства под новым ракурсом и поможет выбрать реальные и эффективные средства организации технологического процесса контроля. ■■

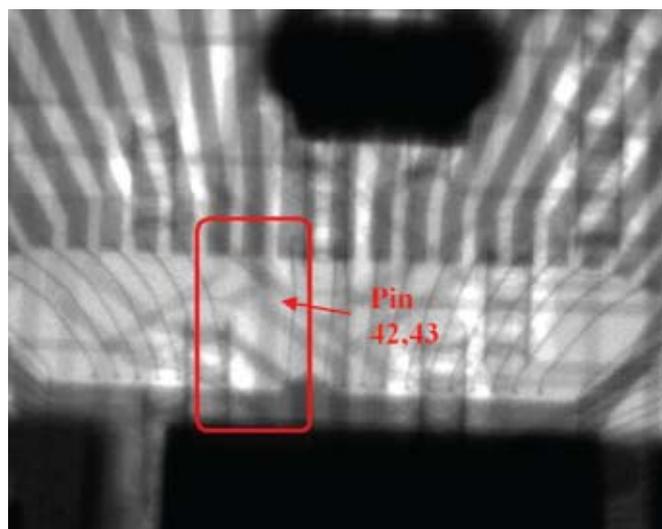
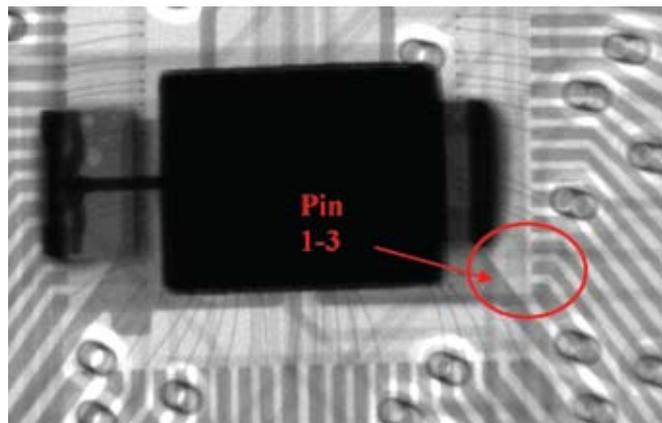


Рис. 7 Рентгеновский снимок микросхемы с отсутствующей разваркой соединительного проводника

Внутрисхемный контроль с использованием технологии измерения узловых импедансов позволяет выявлять все возможные короткие замыкания между цепями, даже если к ним нет доступа, и резко сокращать время тестирования