

# Практические аспекты электрического контроля собранных печатных модулей

**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 должны быть обеспечены быстрый поиск и гарантированная локализация дефектов за минимальное время.**

Николай Клюквин

info@ostec-smt.ru

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 — его внутренняя структура, состояние которой фактически определяет пригодность изделия для выполнения заложенных в него функций в течение всего срока эксплуатации в соответствующих условиях. Состояние внутренней структуры 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 разрывов, дефектов паяных соединений;

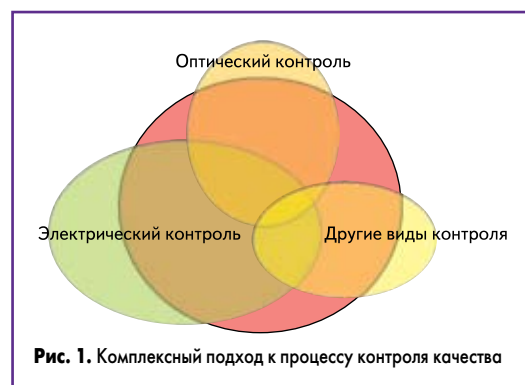
• целостности внутренней структуры компонентов. Очевидно, что только визуальная оценка качества изделия явно недостаточна и ненадежна.

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 основное внимание при проверке качества изделия уделялось функциональному контролю. 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. Согласно статистике, 90% времени уходит именно на поиск и 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, о трудозатратах высококлассных специалистов, их дефиците в настоящее время можно даже не упоминать...



Согласитесь, что было бы очень хорошо, если бы на этап 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 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, при которых он будет эксплуатироваться у 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 10 раз.

Очевидно, что можно привести множество подобных ситуаций.

Становится ясно, что задача обеспечения качества выпускаемой продукции и своевременной локализации внутренних дефектов только только лишь средствами функционального контроля не решается. 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.

Возникновение всех приведенных ситуаций исключено при использовании систем внутрисхемного электрического контроля, обеспечивающих большую информативность о реальном качестве изделия и его внутренней

**Таблица. 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 уровень
Прохождение модуля со скрытыми дефектами на следующую производственную стадию	Низкий уровень	Высокий уровень
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

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 компонентов, 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 другим видом контроля производственных дефектов физически не в состоянии обнаружить (например, перепутан номинал компонента до возможной 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 снижению стоимости ремонта. 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, впоследствии возникающие в изделиях у потребителя, и принимать упреждающие меры для их предотвращения. Если дефект, возникший в изделии 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», не допуская возможности повторения дефекта.

С другой стороны, известно, что наличие квалифицированных кадров — сегодня одна из основных проблем. При уходе работника, который накопил определенный опыт в работе с изделием, мог быстро локализовать и устранить дефект, весь его багаж знаний и навыков



Рис. 2. Система электрического контроля с «летающими» пробниками

теряется для предприятия. 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.

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



Рис. 3. «Летающие» пробники в работе

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 систем адаптерного типа к печатному узлу не предъявляются жесткие требования

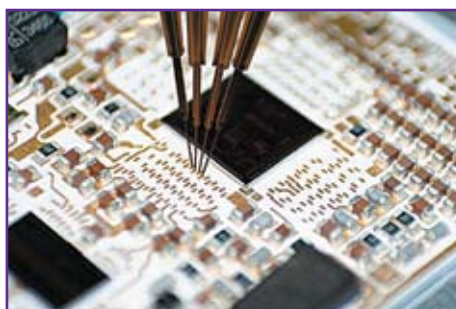


Рис. 4. Работа на керамической плате

по наличию специально предусмотренных тестовых площадок. Контактное соединение может выполняться в любых доступных открытых точках: 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 определить 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 сигналов 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.

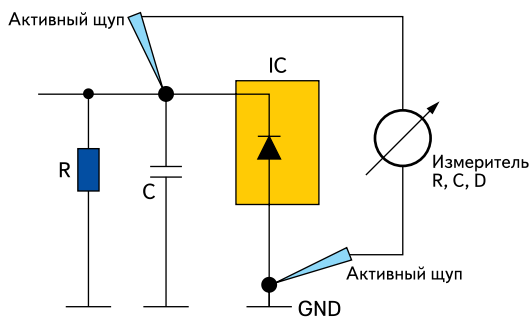
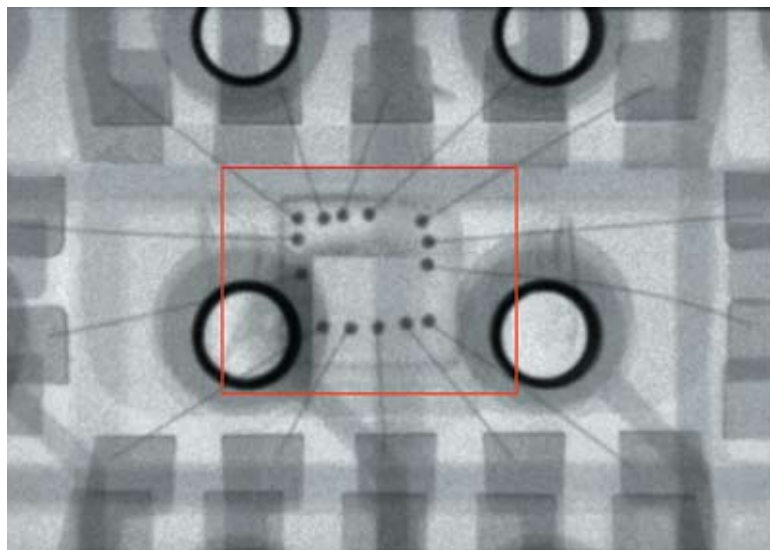
Выявление дефектов типа — не тот конденсатор, короткое замыкание (КЗ) или отсутствие компонента — осуществляется достаточно просто и эффективно. Намного сложнее выявлять дефекты, связанные с микроэлектронной элементной базой, которая составляет сейчас львиную долю в разработках. При этом проблемы возникают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

Сотрудники одного из оборонных предприятий обратились 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 выходном контроле проблем выявлено не было.

Стандартный внутрисхемный контроль на установке SPEA 4040 (КЗ, 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 0,1 пФ с использованием специального измерителя на сигнальном процессоре. Применение данной технологии позволяет вы-




**Рис. 5.** Принцип технологии измерения узловых импедансов

**Рис. 6.** Рентгеновский снимок кристалла контрафактной микросхемы

являть также все возможные короткие замыкания между цепями, даже если к ним нет доступа, и резко сократить 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 микросхемы 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.

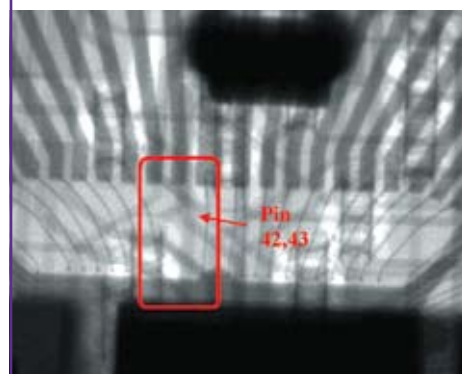
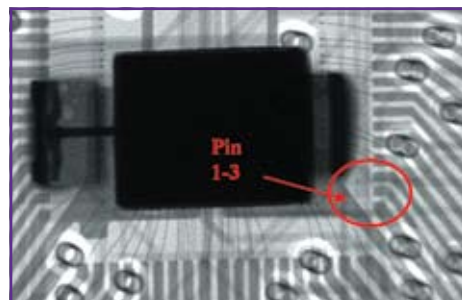
Анализ ситуации показал, что именно используемая технология измерения позволила решить поставленную задачу за минимальное время, а система рентгеновского контроля выступила лишь в качестве «независимого арбитра» для подтверждения результатов. Решение подобной задачи стандартными подручными средствами просто физически не осуществить из-за огромного числа измерений на плате и невозможности обеспечения их повторяемо-

сти. При использовании только рентгеновской установки наш объект поиска остался бы недосягаем, 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 программируемой 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, в то время как подходил срок сдачи очередной партии изделий заказчику. Мы взяли за решение проблемы.

Анализ модуля показал, что лучшим средством контроля данного модуля могло бы стать использование технологии периферийного сканирования по JTAG-интерфейсу. При


**Рис. 7.** Рентгеновский снимок микросхемы с отсутствующей разваркой соединительного проводника

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.

Пришлось идти по проторенному пути с использованием технологии 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 ее 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.