

Электрическое тестирование печатных плат

В статье приводится сравнение различных систем электрического тестирования и определяется область их применения.

**Аркадий Медведев,
Д. Т. Н.,
профессор МАИ**

medvedevam@mtu-net.ru

Создание средств автоматизированного контроля печатных плат зависит от задач, которые предполагается решать с их помощью. Критерии отбраковки могут быть различными по своей глубине, но в основном их можно разделить на три категории: соответствие или несоответствие монтажных соединений заданной электрической схеме (функциональный контроль); соответствие или несоответствие параметров монтажа установленным для них нормам (параметрический контроль); достаточна или недостаточна надежность печатных плат (диагностический контроль).

Следует иметь в виду, что визуальный контроль по внешнему виду обладает свойствами диагностического контроля, так как позволяет обнаружить дефекты основания, ослабления проводников, кольцевые трещины в отверстиях и другие, что часто трудно выявить средствами электрического контроля. Недостатки визуального контроля: субъективность восприятия человеком тех или иных внешних признаков проявления дефектов, большая вероятность ошибок и пропусков дефектов, недоступность для наблюдения соединений в структурах МПП — обусловили внедрение автоматических средств контроля.

Принципы контактирования с тестируемыми платами

Электрическое тестирование печатных плат является важным производственным этапом и включает в себя два типа тестов:

- тест на целостность;
- тест на разобщенность.

Эти тесты позволяют провести проверку печатных плат на обрыв цепи, короткое замыкание и правильность топологии.

Самым технически сложным элементом электрического тестирования является система контакта с тестируемой платой. Существует несколько методов электрического контактирования: ручной, «ложе гвоздей», «летающие щупы», «летающие матрицы».

При ручном методе человек щупами последовательно проводит тест всех цепей, однако по реальной статистике четверть из всех дефектов пропускается оператором (сказывается человеческий фактор).

Контактирование плат с матрицей контактов (часто такое контактное устройство называют «ложем гвоздей») предполагает наличие соединительного устройства с подпружиненными контактами во всех узлах координатной сетки. Индивидуальность платы учитывают изготовлением маски с перфорациями в местах необходимого контактирования или изготовлением специального тестового адаптера с размещенными на нем зондами. Во время тестирования все зонды находятся в контакте с тестовыми точками, и скорость тестирования определяется скоростью переключения ключей. Этот метод обеспечивает высокую производительность, однако требует значительных затрат при переналадке (при переходе от одного типа платы к другому).

Оборудование для метода «летающих зондов» имеет несколько головок с приводами по трем осям, на каждой из которых установлен зонд. Головки по программе осуществляют контактирование с платой, во время которого происходит подача сигнала или измерение. Этот метод обеспечивает простоту переналадки (данные для тестирования получают из CAD/CAM-данных), однако производительность его невысока.

Компромиссом между универсальностью и производительностью является метод «летающих» матриц. В этом случае на каждой каретке размещается матрица щупов, при этом каждый щуп имеет независимый привод по оси Z. Матрицы перемещаются на короткие расстояния с высокой скоростью, при этом наиболее близко расположенный зонд активируется и производит подачу сигнала или измерение. Эта технология позволяет увеличить производительность в 10 раз (по сравнению с методом летающих щупов).

Некоторую разновидность метода «летающих матриц» представляет метод с условным названием «Скорпион», по которому несколько контактных щупов сосредоточены в нескольких модулях с двух сторон платы, и из этих модулей прыгающие щупы «обстреливают» одну зону платы за другой (рис. 1). Поскольку щупы «Скорпион» имеют большой ход, с их помощью можно тестировать трехмерные платы. Собственно говоря, метод «Скорпион» незаменим в тестировании неплоских плат и электронных модулей с высокими компонентами. Длинные щупы «Скорпион» имеют три степени свободы, что позволяет использовать их для этих целей.

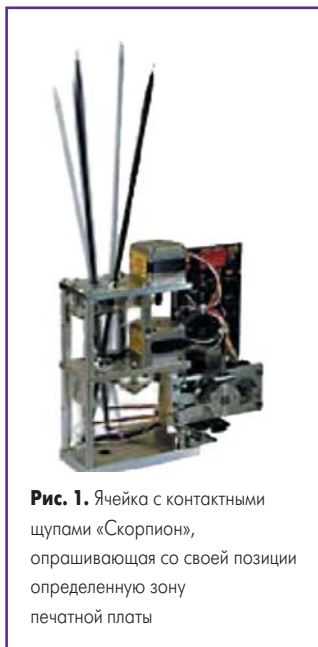


Рис. 1. Ячейка с контактными щупами «Скорпион», опрашивающая со своей позиции определенную зону печатной платы



Матричные тестеры

Матричная система контактирования

Если проверка печатных плат осуществляется поочередным подсоединением к каждому контакту для контроля его разобщения с каждым из оставшихся, такой способ называют максимальным, так как он требует максимального числа контрольных операций. Действительно, для проверки разобщений n цепей нужно последовательным перебором обойти все пары контролируемых точек:

- первый обход: 1–2, 1–3, 1–4, ..., 1–($n-1$), 1– n ;
- второй обход: 2–3, 2–4, 2–5, ..., 2–($n-1$), 2– n ;
- последний обход: ($n-1$)– n .

Можно увидеть, что при таком последовательном обходе количество операций для контроля разобщений цепей равно числу сочетаний по два:

$$N_p = \frac{n(n-1)}{2!} \approx \frac{n^2}{2},$$

где N_p — количество контрольных операций при контроле разобщений.

Например, если плата содержит $n = 1000$ разобращенных цепей, проверка их разобщений состоит из 500 000 операций.

При контроле целостности цепей количество операций контроля совпадает с количеством монтажных точек — точек присоединения выводов компонентов:

$$N_C = kn,$$

где N_C — количество контрольных операций при контроле соединений, k — количество звеньев цепи, n — количество цепей.

Для уменьшения количества контрольных операций для проверки разобщения цепей используется другой способ коммутации точек контактирования на матрице контактов («ложе гвоздей»). Этот способ проверки печатных плат называется инверсным или обратным. По нему все контролируемые точки соединяются с массой, и для проверки отдельных цепей их отрывают от массы и соединяют с шиной измерений (рис. 2). Таким образом, изоляция разобращенных цепей проверяется между отдельно взятой цепью и всеми остальными, замкнутыми между собой. Каждая цепь подвергается контролю на разобщение один раз, поэтому количество проверок равно числу цепей:

$$N_{PI} = n,$$

где N_{PI} — количество контрольных операций при инверсном способе коммутации цепей для проверки разобщения цепей.

Для реализации всех проверок монтажных соединений печатных плат с помощью тестеров с матричной системой контактирования используют следующий порядок процедур:

- проверяют целостность соединений, этим одновременно проверяется качество контактирования соединительного устройства с печатной платой;

- присоединяют все цепи к общей шине — для этого используют по одному контакту от каждой цепи (как правило, первый контакт в адресе цепи);
- поочередно отключают контакты, принадлежащие контролируемым цепям, от общей шины и подключают их к измерительной шине (рис. 2);
- измеряют характеристики разобщения очередной контролируемой цепи относительно массы всех остальных: наличие или отсутствие КЗ, сопротивление изоляции и (или) электрическую прочность диэлектрика;
- отключают проверенную цепь от измерительной шины и возвращают ее к общей шине.

Продельвают эту процедуру последовательно со всеми цепями, проверяя таким образом разобщенность всех цепей.

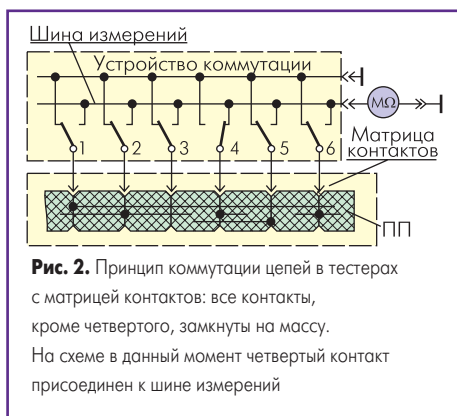


Рис. 2. Принцип коммутации цепей в тестерах с матрицей контактов: все контакты, кроме четвертого, замкнуты на массу. На схеме в данный момент четвертый контакт присоединен к шине измерений

Общее количество проверок при использовании матричной системы контактирования:

$$N = kn + N_{PI}.$$

Контактное поле матричных тестеров («ложе гвоздей»)

Проверка плат матричными тестерами по технологии «ложе гвоздей» (bed-of-nails) заключается в их установке на тестовые адаптеры с последующей проверкой связности (то есть обнаружением коротких замыканий или обрывов низким напряжением около 10 В) и контролем изоляции на утечку и пробой высоким напряжением (до 500 В). Наличие тестовых зондов в переходных отверстиях, физически расположенных на одной дорожке печатной платы, позволяет достаточно точно локализовать обрывы. Проверка даже самой сложной платы данным методом занимает всего несколько секунд.

С точки зрения универсальности, узким местом в матричных тестерах является соединительное устройство, то есть само «ложе гвоздей» — адаптерная часть. Самой дешевой (но и наименее универсальной) является такая конструкция адаптера, в которой провода идут непосредственно от патронов зондов к измерительной части. В этом случае переход от проверки одной платы к другой является длительным и трудоемким процессом. Более дорогим и универсальным является решение, когда база адаптерной части имеет разъем, через который к измерительному мо-

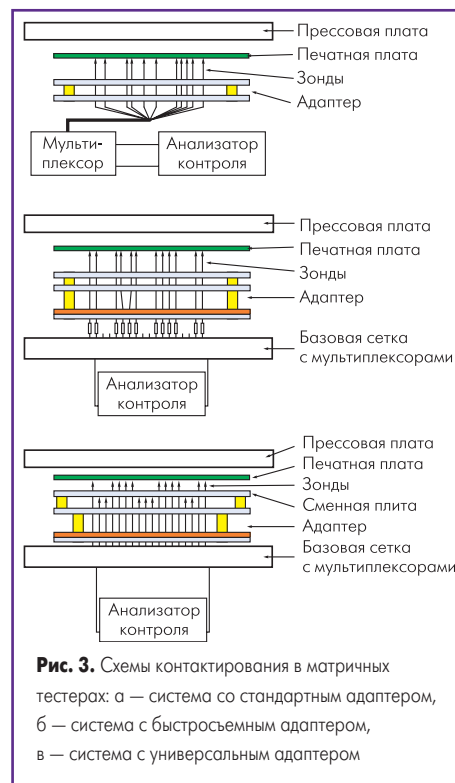


Рис. 3. Схемы контактирования в матричных тестерах: а — система со стандартным адаптером, б — система с быстрьюемым адаптером, в — система с универсальным адаптером

дулю подключается сменный элемент. Такая конструкция пользуется наибольшим спросом у российских производителей в связи с большой номенклатурой и малой серийностью изделий.

Для решения проблемы переналадки используют стандартизованные адаптеры. В этих адаптерах зонды расположены с определенным шагом (обычно 2,5 мм, очень редко 1,25 мм). Для конкретного изделия изготавливаются шаблоны с просверленными отверстиями, через которые проходят зонды в точках тестирования. Однако применение таких адаптеров затруднено из-за двух факторов: даже при небольшом давлении на один зонд (500–800 Н) суммарное давление на адаптер может достигать нескольких тонн. Из-за этого очень сложно изготовить адаптеры с шагом 1,25 мм. Вторым фактором является распространение плат с планарными контактными площадками высокой плотности — как правило, в этом случае шаг зачастую не равен стандартному, и применение таких адаптеров становится затруднительным. Для таких плат обычно применяются дополнительные переходные адаптеры (с одного шага на другой), изготавливаемые индивидуально под каждое изделие.

Матричные средства электрического тестирования содержат контактные устройства (контактор, адаптер), через которые тестируемые цепи плат соединяются электрическими связями с коммутатором, управляемым устройством формирования адреса через согласующее устройство (рис. 4). В коммутаторе размещается набор ячеек, через которые контакты соединяются с контрольно-измерительными приборами. Программа контроля считывается с программноносителя устройством ввода, которое управляет работой устройства формирования адреса. Информация об обнаруженных дефектах печатного



Рис. 4. Внешний вид соединительного устройства (контактного поля) матричного тестера АСПК ПП

монтажа выводится на устройство регистрации результатов контроля, состоящее из цифрочечатающей машинки и блока управления цифровой печатью.

Вводимая в устройство программа задает последовательность контрольных операций. Каждый цикл включает операции подсоединения ряда указанных в программе точек к надлежащим измерительным шинам путем включения соответствующих коммутационных ячеек в коммутаторе, выполнения заданной операции контроля и последующего сброса реле, не используемых в следующем цикле контроля. Алгоритмом контроля предусматривается первоочередность контроля соединений — тогда можно удостовериться в подсоединении к контролируемым точкам. После этого можно контролировать изоляцию, будучи уверенным, что испытательное напряжение будет подключено к контролируемой цепи.

Коммутаторы

С точки зрения быстродействия, габаритов и надежности наиболее подходящими для применения в коммутаторе являются транзисторные ключи. Однако порог различения сопротивления контролируемой цепи позволяет использовать их только в устройствах для функционального контроля.

Электрические требования, предъявляемые к ключевым элементам средств параметрического контроля печатных плат, такие как малое сопротивление изоляции замкнутых и высокое сопротивление изоляции разомкнутых цепей, высокое пробивное напряжение, двухполярная проводимость, не позволяют использовать бесконтактные полупроводниковые элементы. Единственным выходом является применение электромеханических переключателей типа реле.

Для диагностического контроля печатного монтажа требуется отбраковывать печатные платы, в которых порог допустимого сопро-

тивления печатных цепей составляет доли Ом. Снизить порог отбраковки и повысить точность измерений можно с помощью 4-зондового измерения сопротивлений. В этом случае для каждой контролируемой точки в коммутационной ячейке нужно иметь два переключающих контакта. Такая возможность имеется только у многоконтактных реле.

Устройство управления обмотками реле ячеек коммутатора, как правило, выполняется в виде матрицы. Обмотки каждого реле расположены на перекрестии координатных шин X-Y, возбуждаемых усилителями.

Скорость коммутации цепей при использовании бесконтактных полупроводниковых элементов составляет несколько тысяч переключений в секунду. Порог отбраковки «соединение — изоляция» (при функциональном контроле) — несколько кОм. Как правило, стенды контроля содержат аппаратные средства и тесты для обнаружения неисправностей коммутатора.

Практически все современные автоматические средства контроля печатных плат снабжены мини-ЭВМ для управления коммутатором и измерительными ячейками, а также для работы в режиме самопрограммирования, когда программа контроля задается опросом соединений в платах, выбранных в качестве эталонных.

Средства измерения

Контроль параметров производится по пороговому принципу. Омметр служит для контроля сопротивления печатных проводников, мегаомметр или тераомметр — для контроля сопротивления изоляции и пробойная установка — для определения электрической прочности изоляции. Конечно, в высокопроизводительных автоматических тестерах эти средства измерений встроены в систему контроля и отбраковки. Но принципы их построения остаются теми же, что и в отдельно выполненных приборах.

При измерении сопротивления изоляции разобранных цепей необходимо учитывать, что чем больший порог отбраковки задается, тем медленнее работает тестер. Здесь вступает в силу постоянная времени RC-цепи измерения. Например, для разветвленных цепей, имеющих электрическую емкость порядка 100 пФ, при отбраковке плат по порогу сопротивления изоляции в 100 МОм постоянная времени выхода измерительной ячейки на это значение составляет 10 мс. Если групповая заготовка содержит 10 тыс. тестируемых цепей, суммарное время тестирования плат только по сопротивлению изоляции составит 100 с. Отбраковка по уровню 1 кОм при тех же условиях составит всего лишь 0,1 с. Поэтому для повышения производительности тестеры всегда округляют по пороговым значениям параметров отбраковки до приемлемого уровня: по сопротивлению изоляции — 1 МОм, электрическая прочность — 100 В, сопротивление цепи — 5 Ом, ток нагрузки при тестировании соединений — 100 мА.

Чтобы не подвергать накапливаемым разрушениям систему коммутации и контакты, используют бестоковый алгоритм последовательности тестирования, так чтобы переходные процессы сосредоточивались не на контактах, а в коммутирующем устройстве: входение в контакт — включение тестовой нагрузки (измерение) — выключение тестовой нагрузки — выход из контактирования.

Следует обращать внимание на ограничение тока при испытании изоляции на электрическую прочность, чтобы предотвратить дугообразование и, как следствие, полное разрушение печатных плат, после чего они уже не подлежат ремонту.

Плотность тока в реальных диэлектриках распределена неравномерно из-за присутствия неизбежных дефектов. С повышением электрического напряжения в предпробойном состоянии в диэлектрике появляется один или несколько нитевидных каналов с максимальным значением тока утечки, в которых с течением времени возрастает локальная энтальпия, так как местного переноса тепла недостаточно для поддержания теплового равновесия. Температура каналов повышенной проводимости не меняется до тех пор, пока общая плотность мощности за счет токов утечки остается ниже нижнего практического значения, которое для наиболее распространенных эпоксидных стеклопластиков составляет в среднем 10^{-8} Вт/мм³. Между нижним критическим значением и верхним, составляющим в среднем 10^{-5} Вт/мм³, теплообмен нестабилен.

При значениях мощности выше критического неизбежно наступает тепловой пробой диэлектрика. Если в аппаратуре контроля используется устройство отключения напряжения в момент, предшествующий дугообразованию при пробое, следует помнить, что разрушения стенок каналов пробоя наступает при мощности, равной 2 Вт/мм³. Таким образом, если канал пробоя имеет объем $(1... 3) \cdot 10^{-3}$ мм³, ток, предшествующий пробое, не должен превышать 10 мкА.

Последовательная система контактирования

Средства контроля с последовательным контактированием (манипуляторы) лишены многих недостатков матричных тестеров. Они позволяют контролировать с большой точностью практически все электрические параметры печатных плат. Контакт в таких манипуляторных устройствах осуществляется перемещающимися по полю платы парами зондов, совмещенных с измерительными головками. Зонды перемещаются своими индивидуальными координатными системами с приводами, управляемыми программными средствами. Число контролируемых точек и их местоположение практически не ограничены. Последовательность проверки определяется программой контроля, учитывающей топологию связей в печатных платах.

Тестирование перемещающимися зондами дало распространенное название их аппаратной реализации — «тестеры с летающими щупами» (Flay Probes Testing System).

Расстояние между точками контактирования эти тестеры могут обеспечить вплоть до расстояния сближения зондов — до 0,3 мм. Размеры печатных плат ограничены сверху полем перемещения зондов, снизу — элементами крепления плат в поле рамы тестера, на практике же они могут быть любыми. Поэтому системы тестирования с летающими щупами пригодны для контроля МПП размером 610×914 мм, внутренних слоев МПП любого класса плотности, керамических модулей, керамических МПП, гибридных ИС. Погрешность позиционирования контактных зондов — не хуже 0,05 мм. Конструкция зондов, изготовленных из бериллиевой бронзы, обеспечивает надежный электрический контакт с контрольными точками печатных плат без применения каких-либо пружин, так необходимых для контактных штырей соединительных устройств средств контроля с одновременным контактированием.

Средства контроля с «летающими щупами» могут осуществлять диагностику соединений и изоляции, измерять любое сопротивление изоляции, сопротивление цепей, индуктивность, емкость и т. д.

Современные установки этого типа имеют несколько зондовых головок с приводами по осям X, Y, Z, на каждой из которых установлена тестирующая головка. Головки поочередно, по заранее разработанной программе, осуществляют контактирование с платой. Во время контактирования происходит пода-

ча и измерение сигнала. Для контроля этим методом не требуется дополнительных адаптеров, а для перехода от одной платы к другой достаточно лишь изменить программу тестирования. Отсутствие необходимости изготовления матричных контактных устройств, а также разработка программы перемещения зондов методом трансляции из систем CAD/CAM значительно сокращают время подготовки тестовой программы и перехода от одной платы к другой. Вместе с тем данный метод не обеспечивает высокой производительности тестирования.

Для увеличения производительности тестеров с «летающими щупами» применяют емкостный метод опроса тестируемых цепей. Для этого первоначально из партии однотипных плат отбирают и тестируют эталонную плату, измеряют и фиксируют в памяти тестера электрические емкости каждой цепи и устанавливают допустимый диапазон отклонений емкости цепей. При тестировании плат этой партии зонды контактируют только с одной точкой каждой из цепей для измерения их емкости. При отклонении емкости тестируемой цепи за пределы установленного допуска тестер проверяет эту цепь и окружающие ее цепи в нормальном режиме тестирования. Поскольку «летающие зонды» касаются каждой цепи только в одной точке и измеряют только один параметр (емкость цепи), производительность тестеров с «летающими щупами» возрастает по крайней мерекратно количеству щупов, которыми вооружен тестер.

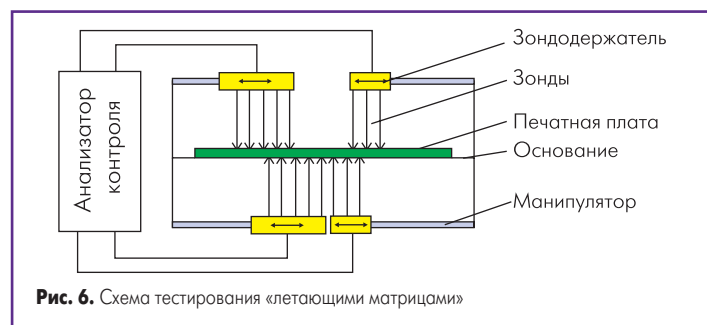
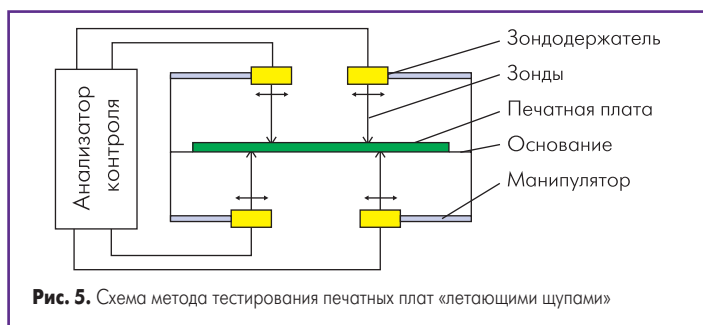
«Летающие матрицы»

Метод «летающих матриц» является относительно новым. При создании этого метода предполагалось решить основные проблемы существующих систем тестирования: сложность переналадки (тестовые системы с адаптером) и низкая производительность (тестовые системы с «летающими щупами»). В этом методе на каждой каретке размещается матрица щупов, каждый щуп которой может независимо перемещаться по оси Z (рис. 6). Каждая матрица состоит из зондов, расположенных с определенным шагом (обычно 25 мм). Как правило, установки, использующие этот метод, имеют четыре матрицы, по две на каждую сторону, между которыми располагается тестируемая печатная плата. Матрицы перемещаются на короткие расстояния с высокой скоростью по осям X и Y, а ближе всего расположенный к точке тестирования

зонд производит подачу сигнала или измерение. Таким образом, среднее расстояние перемещениями очень мало (обычно около 1 мм), что дает огромное преимущество в скорости тестирования. Для реализации метода достаточно иметь две «большие» матрицы и две маленькие (по одной с каждой стороны). Например, в установке New System S24-25 [2] каждая большая матрица имеет 285 зондов (19 колонок, 15 рядов), а каждая маленькая — 75 зондов (5 колонок, 15 рядов). Таким образом, суммарное количество зондов для каждой стороны — 360, а их общее количество — 720. Имеется возможность увеличить количество зондов за счет уменьшения расстояния между ними, следовательно, создавать более быстрые тестирующие системы. Это является важным отличием от установок с «летающими щупами», где увеличение количества зондов затруднено, так как необходимо обеспечить каждый щуп собственной координатной системой для перемещения по трем осям, а также усложнить систему управления установкой, чтобы щупы не мешали друг другу. Другими словами, добавление новых зондов в матрицу не увеличивает сложность механизма, но, делая то же самое с независимыми зондами, мы сталкиваемся с более высокими затратами.

Для привода зондов по оси Z, как правило, используются простые соленоиды небольшой стоимости. Важно, чтобы зонды имели обратную связь с возможностью контроля давления подачи зонда (как правило, это давление составляет от 10 до 150 г). Таким образом, настроив давление подачи зонда, можно протестировать печатную плату с защитной маской, не оставив следов от зондов на поверхности.

Одним из основных показателей тестирующих систем является минимальный шаг, с которым установка может тестировать. Чтобы решить эту задачу, крайний ряд зондов располагают на небольшом расстоянии от границы матрицы, что позволяет тестировать цепи с близко расположенными контактными площадками. В этом случае матрицы сходятся близко друг к другу. Использование четырех матриц (по две на каждой стороне) с независимым перемещением дает возможность провести 100-процентное тестирование для любого варианта размещения тестируемых контактных площадок (на верхней стороне, на нижней стороне, на разных сторонах печатной платы). Важным достоинством систем, использующих метод «летающих матриц», является возможность одно-



временного тестирования нескольких цепей на плате (для несложных плат). Таким образом, тестирование выполняется параллельно с использованием двух измерительных систем. Все это позволяет выполнять до 70 тестов в секунду, что в 10 раз превышает аналогичные характеристики систем с «летающими щупами». А применение автоматических загрузчиков позволяет использовать установку этого типа в три смены, обеспечивая требуемую производительность и быстрый возврат средств.

Контактирующие зонды

Основу надежности электрического тестирования обеспечивают системы контактирующих зондов. Поэтому наиболее ответственной частью установок контроля является сам тестовый зонд, так как именно от качества контактирования зависит достоверность информации, получаемой в результате тестирования.

Соединительные устройства состоят из контактных элементов, предназначенных для создания разъемного соединения с печатной платой, и элементов, обеспечивающих установку и крепление контактов.

По принципу создания контактных усилий контакты подразделяются на штырьковые с пружиной растяжения, штырьковые с пружиной сжатия, пластинчатые (для шага соединительных элементов 2,5 мм) и струнные (для шагов 2,5 и 1,25 мм). Хвостовая часть контакта выполняется применительно к монтажу накруткой, обжимом или пайкой.

Так как контактные элементы являются относительно дорогими компонентами (свыше \$5 за 1 шт.), разработчики ищут пути повышения их долговечности.

Зонды изготавливаются с пружинами разной силы сжатия и имеют различные типы наконечников: плоский для соединения с контактной площадкой металлизированного отверстия; конический для металлизированного отверстия; с контактной площадкой под планарный вывод ИС; со штырем под накрутку — контактная головка с коническим углублением.

Для компенсации неровностей и коробления печатных плат контакты должны иметь увеличенный ход подпружинивания.

Для увеличения надежности контакта с ПП контактное поле подвергают вибрационным колебаниям.

Зарубежная и отечественная промышленность выпускает соединительные устройства с шагом контактирования 2,54 и 2,5 мм. Более сложные устройства предприятия изготавливают сами или заказывают специализированным предприятиям.

Самые распространенные тестовые зонды для метода «ложе гвоздей» состоят из подпружиненной контактирующей части и патрона (рис. 7). Контактирующая часть предназначена для обеспечения качественного контакта с печатной платой и различается по форме (коронка, игла, воронка и др.). Форма контактирующей части определяется типом



контактируемого объекта: переходного отверстия, вывода штырьковых компонентов, специально подготовленными тестовыми площадками и т. д. Патроны предназначены для проводного соединения с измерительной частью системы и отличаются по способу соединения с проводом: монтаж накруткой, обжим, пайка.

Перемещающиеся зонды систем «летающая матрица» или «летающие щупы», как правило, изготавливаются с универсальным коническим наконечником. Важно, чтобы давление зонда на плату было регулируемым (для тестирования плат различной толщины и жесткости это давление как правило, лежит в диапазоне от 10 до 150 г). Для снижения вероятности «ложных тревог» необходимо, чтобы привод зондов по оси Z имел обратную связь.

Базирование тестируемых заготовок

Важной частью установок электрического контроля печатных плат является система базирования и установки, так как в случае возникновения рассовмещений между координатными системами тестируемой платы и щупами будут возникать ложные ошибки. В системах, использующих метод «ложе гвоздей», как правило, используется базирование по штифтам или по упору (по углу). Такой способ базирования обеспечивает необходимую точность, поскольку все зонды неподвижны. В случае использования методов с подвижными зондами (или матрицами зондов), такой метод базирования неприменим, так как добавляется погрешность позиционирования каретки. В этом случае применяется автоматическое базирование по тестовым купонам или реперным знакам. При использовании тестовых купонов электрическим способом производится измерение координат купонов, по этим координатам рассчитывается базовая точка отсчета. Для более точного и быстрого нахождения начала координат используется метод оптического измерения с помощью камер. В этом случае по изображению реперного знака программное обеспечение находит его центр и вычисляет координаты. Это позволяет компенсировать угловой поворот и смещение заготовки относительно базы станка, а также снизить накапливаемую погрешность в случае групповой заготовки (при распознавании реперных знаков на каждой тестируемой плате в групповой заготовке).

Программное обеспечение

Известно, что для электрического контроля печатной платы необходимо провести два типа тестов: тест на целостность и тест на разоб-

ность цепей. При этом количество тестируемых в общем случае для теста на целостность равно $N(k+1)$, для теста на разобственность — $N(N-1)/2$, где N — число тестируемых цепей, k — число звеньев цепей (разветвлений).

Как видно из выкладок, в общем случае для теста на разобственность требуется значительно большее время тестирования, поэтому важной частью систем тестирования является программное обеспечение, позволяющее оптимизировать тестовую программу.

Исходные данные

Чтобы протестировать печатную плату, необходимо иметь информацию, которая показывает, как печатная плата разведена (список цепей, информация о близко расположенных цепях и т. д.). Возможно три пути создания списка цепей:

1. Список цепей выбирается с использованием эталонной платы.
2. Список цепей генерируется исходя из данных Gerber формата.
3. Список цепей заимствуется из CAD-данных.

Рассмотрим эти пути подробнее.

Использование эталонной платы

В этом случае список цепей и программа создаются методом самообучения по эталонной плате. Данный метод применим только для методов «летающих матриц» и «летающих зондов».

Преимущества:

- время для подготовки тестирования очень мало, так как не требуется анализ платы.

Недостатки:

- сложно получить эталонную плату;
- если в эталонной плате будет дефект (дефект на пленке, ошибки Gerber-файла), то в процессе производства невозможно обнаружить это.

Этот метод достаточно сложный, в сильной степени зависящий от возможности получения эталонной платы.

Использование Gerber-данных

В этом случае с помощью программных средств по Gerber-файлам слоев воссоздается список цепей.

Преимущества:

- нет необходимости в эталонной плате;
- возможно обнаружение систематических дефектов в печатных платах, что очень важно в производстве печатных плат.

Недостатки:

- время, необходимое для анализа Gerber-данных, составляет от 1 до нескольких десятков минут;
- невозможно определить дефекты, внесенные на этапе подготовки информации к производству (ошибка оператора САМ-станции).

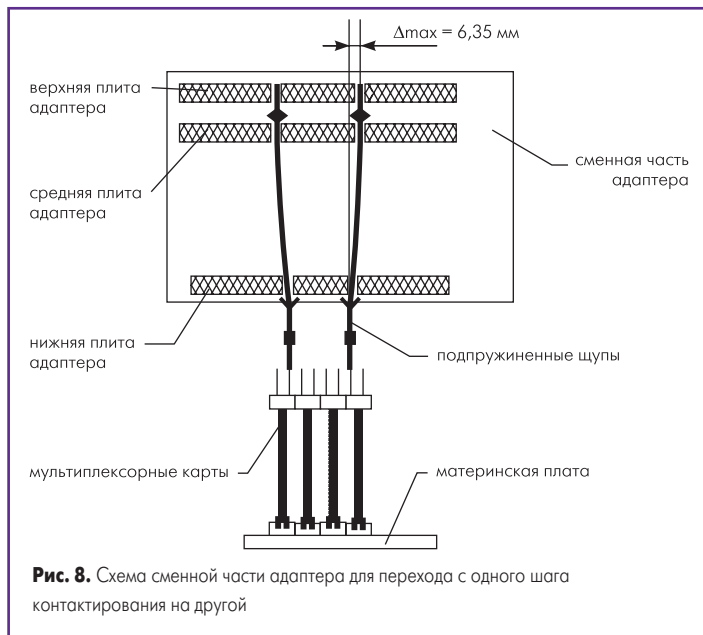
Данный метод значительно проще предыдущего, но он не позволяет выявлять все возможные ошибки.

Использование CAD/CAM-данных

Использование CAD/CAM-данных является наиболее оптимальным методом получения списка цепей.

Преимущества:

- нет необходимости в эталонной плате;



- возможность обнаружения всех видов дефектов, возникающих как в процессе изготовления платы, так и на этапе подготовки информации.

Недостатки:

- значительное время подготовки списка цепей из CAD/CAM-данных (до десятков минут);
- каждая CAD/CAM-система имеет собственный формат данных и зачастую, при наличии полной информации, не позволяет провести 100-процентное тестирование.

Этот метод самый надежный, насколько это необходимо, однако требуется описание формата, используемого в САПР, так как стандартные форматы, содержащие всю необходимую информацию для тестирования, только начинают внедряться в производство (ODB++).

Как правило, для получения списка цепей используют Gerber-данные. Это связано с тем, что:

1. Обычно данные САПР (CAD) дорабатываются в САМ-программах (корректируются ошибки, формируется групповая заготовка, добавляются реперные и другие знаки), а затем по этим данным генерируется таблица цепей. В этом случае ошибки на этапе подготовки информации не выявляются при тестировании.
2. Сложно или невозможно найти формат списка цепей, соответствующий нужному электрическому тестеру.
3. Данные формата Gerber используются на установках ремонта.

Для подготовки данных из Gerber-файла возможно два пути:

1. Первый путь — косвенное сравнение, основанное только на данных в формате Gerber, переданных заказчиком. При этом печатные платы и список цепей имеют общие только начальные оригинальные данные, что дает возможность при САМ-обработке легко обнаружить ошибки.
2. Второй путь предусматривает использование, в дополнение к Gerber-файлу, таблицу цепей в стандарте IPC-D-356, переданную

заказчиком. В этом случае выполняется сравнение списка цепей, переданного заказчиком, с генерированными данными из Gerber-файла, что позволяет обнаружить все ошибки при работе на САМ-станции.

Сопоставление средств электрического тестирования

Предпосылками для выбора оборудования электрического тестирования должны быть следующие факторы:

- требуемая производительность;
- номенклатура выпускаемой продукции;
- класс сложности платы.

Применение самого дешевого (с позиций капитальных затрат) ручного метода оправдано лишь в лабораторном и прототипном производстве. Однако достоверность результатов ручного контроля невысокая.

Для оборудования с подвижными зондами характерна простота переналадки, что делает его приемлемым для мелкосерийного производства с большой номенклатурой плат. Но производительность тестеров с «летающими щупами» недостаточна для больших объемов производства.

Матричные системы тестирования обеспечивают максимальную производительность, зависящую в основном от скорости установки плат на контактное поле и от порогов отбраковки, связанных с постоянной времени RC-цепей измерительных устройств. В качестве переключателей тестируемых цепей используются коммутаторы на транзисторных ключах. Если для диагностического контроля использовать релейную систему коммутации, производительность матричных тестеров падает на порядок. И применение их ушло в прошлое.

Однако использование матричных тестеров сопряжено с большими издержками на переналадку при смене типа печатной платы, а также на изготовление сменных адаптеров, если шаги контактирования отличаются от шага матричного поля контактов (рис. 8). Поэтому матричные тестеры выгод-

но использовать в серийном и массовом производстве плат с малой номенклатурой.

Компромиссом между универсальностью и производительностью является метод «летающих матриц», обеспечивающий достаточную скорость применительно к мелкосерийному и серийному производству независимо от номенклатуры производства.

Выбирая между «ложом гвоздей» и «летающими матрицами», следует учитывать также, что при шаге сетки меньше 1,25 (1,27) мм или при использовании компонентов с высокой плотностью контактов следует предпочесть метод «летающих матриц», так как для использования матричного метода может не хватить контактов для покрытия всех монтажных точек тестируемой платы. В этом случае возможно использование комбинации тестеров: матричных — для большинства цепей и «летающих» — для монтажных точек с высокой плотностью размещения, как, например, для монтажного поля BGA-компонентов.

При выборе оборудования кроме производительности и стоимости тестеров следует учитывать тип и долговечность контактных зондов, точность системы базирования и поставляемое в комплекте программное обеспечение, поскольку оно тоже определяет скорость работы установки и время ее переналадки.

Обобщенная оценка эффективности электрического тестирования для различных видов производств показана на рис. 9.

Литература

1. Городов В. Методы электрического контроля печатных плат // Компоненты и технологии. Технологии в электронной промышленности. 2005. № 1.
2. Карпов С. В. Проблемы контроля многослойных печатных плат. М.: Радиотехника. 2003.
3. www.pcbfab.ru
4. Приходько И. Тестирование печатных плат // Электронные компоненты. 2003. № 8.

