

Методы электрического контроля печатных плат

Рентабельный выпуск печатных плат по высоким проектным нормам невозможен без контроля качества после ключевых технологических операций. В зависимости от задач контроль производится различными методами — визуальным, электрическим, функциональным и т. д., но наиболее органичным для печатных плат является электрический контроль, поскольку основное их назначение — передача электрических сигналов.

Владимир Городов

gorodov@pcbfab.ru

Электрический контроль печатных плат (ПП) — важный производственный этап. Он предназначен для проверки целостности/разобщения ПП, что включает в себя проверку на целостность цепей, отсутствие коротких замыканий [1].

Типовое значение верхнего предела сопротивления цепи несмонтированных ПП при контроле на обрыв, как правило, составляет 100 Ом при напряжении 20 В. Однако зачастую это значение велико для выявления дефектов, возникающих при эксплуатации ПП или связанных с увеличением времени прохождения сигнала в ВЧ-платах. В этих случаях в качестве верхнего предела выбираются более низкие значения или производится измерение времени нарастания потенциала. Измерения истинных значений омических сопротивлений цепей требуют использования четырехзондовой системы, что технически трудно выполнить без потери производительности тестеров. Применение импульсных токовых нагрузок для выявления слабых элементов в соединениях также связано с потерей производительности, поскольку режим такого контроля включает несколько этапов: вступление зондов в контакт, измерение сопротивления цепи с запоминанием его значения, нагружение цепи большим импульсом тока, измерение сопротивления и сравнение его с предыдущим значением, выход зондов из контакта. Кроме того, давление зондов на контактные площадки ПП должно быть больше, чем для обычного тестирования. Это может повлечь повреждение контактных поверхностей.

Для контроля на разобщение, как правило, используется пороговое значение сопротивления изоляции в 100 МОм. Контроль по большему уровню замедляет процесс тестирования, по меньшему — грозит пропуском дефектов изоляции. Выявление слабых мест изоляции большими напряжениями ограничено низкой электрической прочностью воздуха. Для тестирования изоляции за ограниченное время (порядка 1 с) требуется напряжение не менее

500 В, но при этом начинается электрическое коронирование с острых кромок зондов или проводников ПП, поэтому возможны ложные результаты тестирования изоляции [3].

В некоторых случаях для высокочастотных плат требуется контролировать волновое сопротивление (импеданс). Это сопротивление измеряется рефлектометрическим методом, суть которого заключается в измерении временных характеристик отраженного импульса.

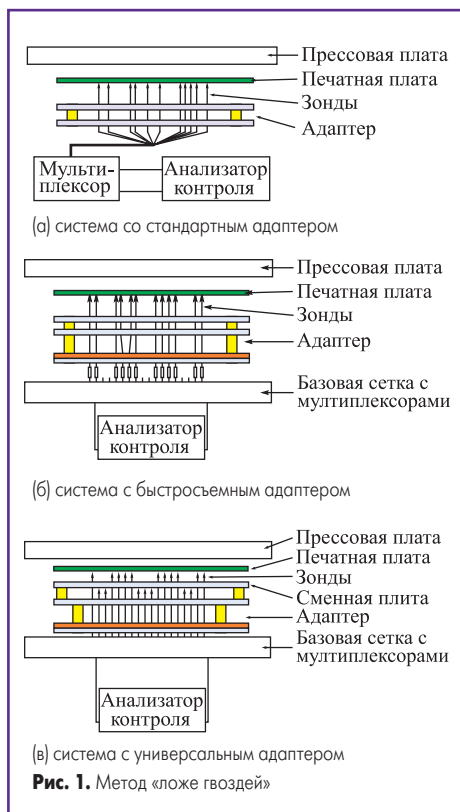
Самый технически сложный компонент электрического контроля — система контакта с тестируемой платой. Существует несколько методов электрического контактирования: ручной, с помощью адаптера (контактора), подвижных зондов, «летающих» матриц.

Основные методы электрического контроля

Ручной метод. При ручном методе оператор вручную последовательно проводит тест всех цепей, однако, по статистике, процент пропускаемых дефектов достигает 25%.

Адаптер. Во время тестирования с помощью адаптера (рис. 1) все размещенные на нем зонды находятся в контакте с контрольными точками, и скорость контроля определяется быстродействием переключающих ключей. Наличие тестовых зондов в переходных отверстиях, физически расположенных на одной дорожке ПП, позволяет достаточно точно локализовать обрывы. Проверка даже самой сложной платы данным методом по пороговому уровню 1 кОм занимает всего несколько секунд.

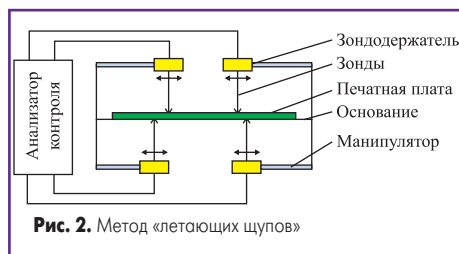
С точки зрения универсальности узкое место в подобных установках — сама адаптерная часть. Самой дешевой (но и наименее универсальной) является такая конструкция адаптера, в которой провода идут непосредственно от патронов зондов к измерительной части (рис. 1а). В этом случае переход от проверки одной платы к другой — длительный и трудоемкий процесс. Более дорогим и универсальным является решение, когда база



адаптерной части имеет соединитель, через который к измерительному модулю подключается сменный элемент (рис. 1б). Такая конструкция пользуется наибольшим спросом у производителей с широкой номенклатурой и малой серийностью изделий. Оба варианта подразумевают изготовление адаптера для каждого типа проверяемой печатной платы.

Проблема переналадки решается путем применения стандартизированных адаптеров, в которых зонды расположены с определенным шагом (обычно 2,5 мм, реже 1,25 мм). Для конкретного изделия изготавливаются шаблоны с просверленными отверстиями, через которые проходят зонды к точкам тестирования (рис. 1в). Однако применение таких адаптеров затруднено из-за двух факторов: даже при небольшом давлении на один зонд (50–80 гс) общее давление на адаптер может достигать нескольких тонн. Поэтому очень сложно изготовить адаптеры с шагом 1,25 мм. Второй фактор связан с распространением плат с планарными контактными площадками высокой плотности — в этом случае шаг зачастую не равен стандартному и применение таких адаптеров становится затруднительным. Для подобных плат обычно применяются дополнительные переходные адаптеры (с одного шага на другой), изготавливаемые индивидуально под каждое изделие.

Подвижные зонды. Для мелкосерийного производства высокоплотных электронных модулей широкой номенклатуры оптимально тестовое оборудование с подвижными зондами. Установки этого типа имеют несколько зондовых головок с приводами по осям X, Y, Z, которые поочередно, по заранее разработанной программе, контактируют с платой (рис. 2). Во время контактирования происходит подача 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 тестовых адаптеров, а также разработка программы перемещения зондов методом трансляции из САПР значительно сокращают время подготовки тестовой программы и перехода от одной платы к другой. Вместе с тем данный метод не обеспечивает высокой производительности тестирования.

Последовательный контроль различными системами. Некоторые компании предлагают совместно использовать установки различных типов, например, сначала адаптерные, а затем с «летающими» щупами [5]. Это позволяет снизить стоимость и сложность адаптеров за счет переноса части тестируемых цепей на установки с «летающими» щупами. Так же производится дополнительная проверка выявленных на первом тестировании ошибок.

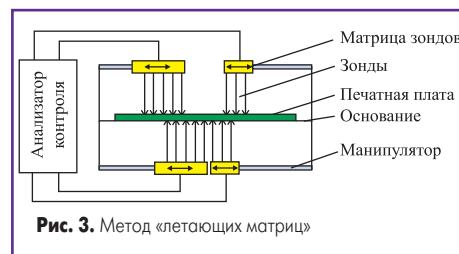
К недостаткам такого подхода можно отнести:

- большую стоимость системы;
- сложное программное обеспечение, совместимое со всеми установками;
- сложности переналадки на новое изделие;
- уменьшение эффективности системы при увеличении количества областей высокой плотности контактных площадок.

Этот подход целесообразно применять в следующих случаях:

- модернизация этапа контроля (наличие адаптерной установки с недостаточной плотностью сетки);
- небольшая номенклатура выпускаемых изделий и наличие в этих изделиях нескольких областей с высокой плотностью контактов.

Летающие матрицы. Метод относительно новый. При его разработке предполагалось решить основные проблемы существующих систем тестирования: сложность переналадки (системы с адаптером) и низкая производительность (системы с подвижными зондами). При этом методе на каждой каретке размещается матрица щупов, каждый щуп которой может независимо перемещаться по оси Z. Каждая матрица состоит из зондов, расположенных с определенным шагом (обычно 25 мм). Как правило, тестовые установки имеют четыре матрицы, по две на каждую сторону, между которыми располагается тестируемая ПП (рис. 3). Благодаря этому возможно проведение 100%-ного контроля для любого варианта размещения тестируемых контактных площадок (на верхней стороне, на нижней стороне, на разных сторонах ПП). Матрицы перемещаются на короткие расстояния по осям X и Y с высокой скоростью,



при этом наиболее близко расположенный к точке тестирования зонд активизируется и производит подачу сигнала или измерение. Среднее расстояние перемещения очень мало (обычно около 1 мм), что дает огромное преимущество в скорости тестирования.

Для реализации метода достаточно двух больших матриц и двух маленьких. Например, в установке New System S24-25 [2] каждая большая матрица имеет 285 зондов (19 столбцов, 15 рядов), а каждая маленькая — 75 зондов (5 столбцов, 15 рядов) (рис. 4). Таким образом, суммарное число зондов для каждой стороны — 360, а общее — 720. И это не предел! Число зондов можно увеличить за счет уменьшения расстояния между ними, и, следовательно, создать более быстродействующие тестирующие системы. Это важное отличие от установок с подвижными зондами, где увеличение числа зондов затруднено, так как для каждого щупа необходимо прибавить приводы по двум осям. Другими словами, добавление новых зондов в матрицу не повышает сложность механизма.

Для привода зондов по оси Z, как правило, используется соленоид (из-за его невысокой стоимости). Важно, чтобы зонды имели возможность контроля давления — настроив оптимальное давление подачи зонда, можно протестировать ПП с финишным покрытием, не оставив следов от зондов на ее поверхности.

Один из основных показателей тестирующих систем — минимальный шаг, с которым система может тестировать. Для его обеспечения крайний ряд зондов располагается на небольшом расстоянии от границы матрицы, что позволяет тестировать цепи с близко расположенными контактными площадками. В этом случае матрицы сходятся близко друг к другу.

Важным качеством систем с летающими матрицами является возможность одновременного тестирования нескольких цепей



на плате (для несложных ПП). В этом случае тестирование выполняется параллельно с использованием двух измерительных систем. Все это приводит к бысродействию до 70 тест/с, что в 10 раз превышает аналогичные характеристики систем с подвижными щупами. А применение автоматических загрузчиков позволяет использовать установки этого типа в три смены, обеспечивая требуемую производительность и окупаемость.

Области применения различных методов

Тип используемого тестового оборудования определяется множеством факторов: требуемой производительностью, номенклатурой, проектными нормами, плотностью элементов топологии (рис. 5).

Так, например, самый дешевый (с позиций капитальных затрат) ручной метод применим для лабораторного или прототипного производства, однако достоверность проверки и производительность этого метода невысоки. Для оборудования с подвижными зондами характерна простота переналадки и невысокая производительность, что делает его идеальным для мелкосерийного производства с большой номенклатурой. Адаптерные методы обеспечивают максимальную производительность, как правило, определяемую бысродействием транзисторных ключей и скоростью установки платы на контактное поле, однако для каждого изделия требуются значительные затраты на переналадку, а также на изготовление новых адаптеров. Эти методы применимы для серийных производств с малой номенклатурой. Компромисс между универсальностью и производительностью обеспечивает метод «летающих» матриц, имеющий производительность на уровне мелко- и среднесерийного производства независимо от типа номенклатуры.

Помимо производительности следует учитывать также технологические особенности печатных плат, а именно плотность контрольных точек и проектные нормы. Так, например, универсальные адаптеры обеспечивают контроль плат с контрольными точками, расположенными по сетке 2,5 (реже 1,25).

Адаптерные системы не могут обеспечить контроль всех цепей в платах с высокой плотностью элементов. В случае нескольких зон высокой плотности на тестируемой плате возможно последовательное применение различных методов, например, сначала «ложе гвоздей», а затем «летающие» щупы.

Выбирая конкретную модель установки, помимо стоимости и производительности следует учитывать и специфические данные, такие как тип используемых зондов, система базирования проверяемой платы, используемое программное обеспечение и др.

Зонды

В основе электрического контроля лежит наличие системы «зонд-проводник платы-зонд». И наиболее ответственная часть установок контроля — сам тестовый зонд, поскольку именно от качества контактирования зависит достоверность информации, получаемой в результате тестирования. Тестовые зонды для адаптерного метода (рис. 6), как правило, состоят из подпружиненной контактирующей части и патрона. Контактная часть предназначена для обеспечения качественного контакта с ПП и различается по форме (коронка, игла, воронка и др.), которая определяется типом контактируемого объекта: переходного отверстия, вывода штырьковых компонентов, специально подготовленными тестовыми площадками и т. д. Патроны предназначены для соединения с измерительной частью системы и различаются по способу соединения с проводом: монтаж накруткой, обжим, пайка.

Перемещающиеся зонды систем «летающая матрица» или «подвижные щупы», как правило, изготавливаются с универсальным коническим наконечником. Важно, чтобы

давление зонда на плату было регулируемым (для тестирования плат различной толщины и жесткости его значение лежит в диапазоне от 10 до 150 гс). Для снижения вероятности ложных ошибок необходимо, чтобы привод зондов по оси Z имел обратную связь.

Базирование тестируемых заготовок

Важную часть оборудования электрического контроля ПП и ПУ представляет система базирования и установки, поскольку из-за рассовмещений между координатами тестируемой платы и щупов возникают ложные ошибки. В адаптерных установках, как правило, используется базирование по штифтам или упору. Такой способ базирования обеспечивает необходимую точность, так как все зонды неподвижны. При использовании технологий с подвижными зондами (или матрицами зондов) этот метод базирования неприемлем, поскольку 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, а по ним рассчитывается базовая точка отсчета. Для более точного и быстрого поиска начала координат используется метод оптического позиционирования с помощью видеокамер — по изображению реперного знака с помощью ПО определяется его центр и вычисляются координаты. Это позволяет компенсировать угловой поворот и смещение заготовки относительно базы тестера, а также снизить накапливаемую погрешность в случае групповой заготовки (при распознании реперов на каждой тестируемой плате в групповой заготовке).

Программное обеспечение

Для электрического контроля ПП необходимо проводить два типа тестов: тест на целостность и тест на разобщенность цепей. При этом, если количество тестирований для теста на целостность равно N , то для теста на разобщенность оно составит $(N-1)/2$, где N — число тестируемых цепей. Как видно, для теста на разобщенность требуется значительно больше операций тестирования, поэтому важную часть систем тестирования составляет ПО, позволяющее оптимизировать тестовую программу.

В качестве исходных данных выступает информация о разводке ПП (список цепей, информация о близко расположенных цепях и т. д.). Список цепей может быть создан тремя путями: с использованием эталонной платы, исходя из данных Gerber-формата и заимствованием из данных САПР.

В первом случае список цепей и программа создаются методом обучения по эталонной плате. Его преимущество заключается в простоте реализации, так как не требуется аппаратного анализа платы. Однако он имеет и недостатки: во-первых, время обучения

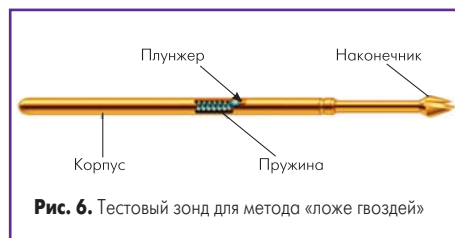


Рис. 6. Тестовый зонд для метода «ложе гвоздей»

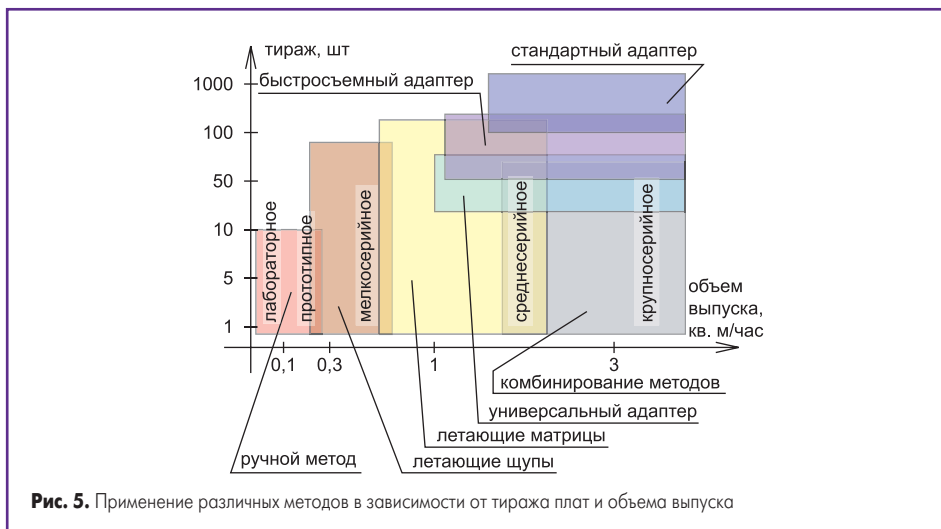


Рис. 5. Применение различных методов в зависимости от тиража плат и объема выпуска

может быть значительным, во-вторых, необходимо получить эталонную плату, причем, если эта плата содержит дефект (дефект на пленке, ошибки Gerber-файла), в процессе производства его обнаружить невозможно. Можно сказать, что этот метод достаточно сложный и во многом зависит от возможности получения эталонной платы.

В случае использования Gerber-данных список цепей воссоздается с помощью программных средств. Преимущества этого метода заключаются в отсутствии необходимости в эталонной плате, кроме того, возможно обнаружение систематических дефектов в ПП. Его недостатки: время, необходимое для анализа Gerber-данных, составляет от одной до нескольких десятков минут; невозможно определить дефекты, внесенные на этапе подготовки информации к производству (ошибка оператора АСУ ТП). Данный метод значительно проще предыдущего, однако он не позволяет выявлять все возможные ошибки.

Оптимальным методом получения списка цепей является использование данных САПР. Его преимущества: отсутствует необходимость в эталонной плате; возможно обнаружение всех видов дефектов, возникающих как в процессе изготовления платы, так и на этапе подготовки информации. Недостатки: значительное время подготовки списка цепей из данных САПР (до десятков минут); каждая САПР имеет собственный формат данных, что зачастую не позволяет при наличии

полной информации провести 100%-ное тестирование. Этот метод самый надежный, однако требует описания формата, используемого в САПР. Стандартные форматы, содержащие всю необходимую для тестирования информацию, только начинают внедряться в производство (ODB++).

И все же для получения списка цепей используют, как правило, Gerber-данные, что связано со следующими факторами. Обычно данные САПР дорабатываются в программах АСУ ТП (корректируются ошибки, формируются групповая заготовка, добавляются реперные и другие знаки), а затем по полученным данным генерируется таблица цепей. В этом случае ошибки на этапе подготовки информации не выявляются при тестировании. Сложно, а иногда невозможно, найти формат списка цепей, соответствующий нужному тестеру. Данные формата Gerber используются на станциях ремонта.

Подготовка данных из Gerber-файла проводится двумя способами. Первый — это косвенное сравнение, использование только данных в формате Gerber, переданных заказчиком. При этом ПП и список цепей имеют общие только начальные, оригинальные данные, что дает возможность на этапе АСУ ТП легко обнаружить ошибки. Второй способ предусматривает использование в дополнение к Gerber-файлу таблицы цепей в стандарте IPC-D-356, переданной заказчиком. В этом случае список цепей, переданный заказчиком, сравнивается с сгенерированными

данными из Gerber-файла, в результате чего обнаруживаются все ошибки при работе на станции АСУ ТП.

Предпосылками для выбора оборудования электрического контроля должны быть производительность, номенклатура выпускаемой продукции, класс сложности платы и плотность элементов. В каждом конкретном случае требуется проводить технико-экономический анализ эффективности той или другой установки, руководствуясь общими принципами: для невысокой производительности рекомендуется применять установки с подвижными зондами, многономенклатурные серийные производства оправдывают применение «летающих» матриц с автоматическими загрузчиками, для крупносерийного производства с небольшой номенклатурой рекомендуется применение адаптерных методов. При выборе оборудования также следует обращать внимание на поставляемое в комплекте ПО.

Литература

1. www.pcbfab.ru
2. www.new-system.com
3. Медведев А. М. Надежность и контроль качества печатного монтажа. М.: Радио и связь. 1986.
4. Городов В. А. Электрический контроль печатных плат и узлов // Электроника: НТБ. 2004. № 7.
5. Duane Delfosse, Combination Grid — Prober Test // CircuitTree. 2002. № 11.