

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И УЗЛОВ

Выпуск качественных печатных плат и узлов невозможен без контроля этого процесса на всех технологических операциях. Контроль производится различными методами – визуальным, электрическим, функциональным и другими. При этом наиболее органичным для печатных плат является электрический контроль, поскольку основное назначение плат – передача электрических сигналов. При проектировании этапа электрического контроля необходимо решать, какой метод электрического тестирования следует выбрать, в каком диапазоне варьировать параметры тестирования.

Электрический контроль печатных плат (ПП) и печатных узлов (ПУ) – важный производственный этап. Его назначение – проверка целостности-разобщения ПП, что предполагает проверку на обрыв цепи, короткое замыкание, правильность топологии [1].

Типовое значение верхнего предела сопротивления цепи несмонтированных ПП при контроле на обрыв составляет 100 Ом. Однако зачастую это значение не покрывает дефекты, возникающие при эксплуатации ПП, и дефекты, связанные с увеличением времени прохождения сигнала в ВЧ-платах. В этих случаях в качестве верхнего предела выбираются более низкие значения. 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 последовательных 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, для проверки токами 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

Представляем автора статьи

ГОРОДОВ Владимир Александрович. Инженер-технолог ООО "Электрон-Сервис-Технология".
www.elservtechno.ru, gorodov@elserv.ru



В.Городов

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 и поэтому возможны ложные результаты тестирования изоляции [2].

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

При ручном методе оператор щупами последовательно проводит тест всех цепей, однако по статистике процент пропускаемых дефектов достигает 25%. Во время тестирования с помощью адаптера все размещенные на нем зонды находятся в контакте с контрольными точками, и скорость контроля определяется быстротой переключения ключей. Обеспечивая высокую производительность, этот метод требует, однако, значительных затрат при переналадке. Для оборудования с подвижными зондами характерна простота переналадки, но производительность его невысока. Компромисс между универсальностью и производительностью обеспечивает метод "летающих матриц".

*Внутрисхемный контроль**. Этот контроль означает проверку отдельных компонентов на плате, причем при тестировании компонента исключается влияние параллельных цепей. Внутрисхемный контроль подразделяется на аналоговый и цифровой. При аналоговом контроле обычно проверяются: наличие коротких замыканий и обрывов, номиналы дискретных компонентов, наличие и правильность установки микросхем. При цифровом внутрисхемном контроле проверяются цифровые микросхемы на соответствие таблице истинности.

Выбор оборудования и метода контактирования для внутрисхемного контроля зависит от требований и возможностей производителя ПП и ПУ. Например, метод клипс и пробников (ручное тестирование) универсален, недорог, но требует больших временных затрат и сравнительно высокой квалификации персонала, поэтому его обычно применяют при единичном производстве и ремонте. Метод адаптера предполагает изготовление тестового контактора для каждого изделия. Возможно применение метода подвижных зондов, позволяюще-

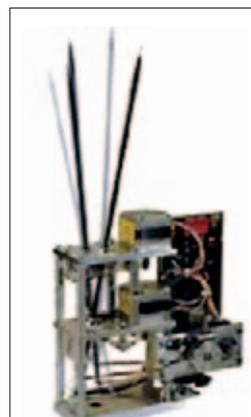


Рис. 1. Щупы "скорпион"

*ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №5, с.44–49.

го снизить затраты на переналадку, однако для контроля собранных модулей предъявляются особые требования к оборудованию, а производительность такого метода, как уже говорилось, невысока. Для контроля ПУ с высокими компонентами применяется метод "скорпион". Длинные щупы (рис. 1), имеющие три степени свободы, позволяют использовать в качестве тестовых точек контактные площадки, ножки компонентов, соединители и т.д. Возможно применение как адаптерных систем с щупами "скорпион", так и систем с перемещающимися щупами.

Функциональный контроль*. Данный контроль проверяет работоспособность изделия в сборе, при этом выполняются следующие задачи:

- подача питающего напряжения с возможностью изменения его в автоматическом режиме от минимально до максимально допустимого для данного изделия;
- подача цифровых и аналоговых входных сигналов в широком диапазоне частот и напряжений;
- измерение параметров выходных сигналов;
- эмуляция нагрузок;
- обмен данными между тестером и тестируемым устройством;
- обработка результатов измерений и вывод их на монитор и принтер в удобном для пользователя виде;
- накопление и обработка статистической информации.

При функциональном контроле контакт с изделием осуществляется, как правило, через краевой соединитель.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Адаптер. Проверка плат с помощью адаптера заключается в их установке на тестовые адаптеры (рис.2) с последующими проверкой

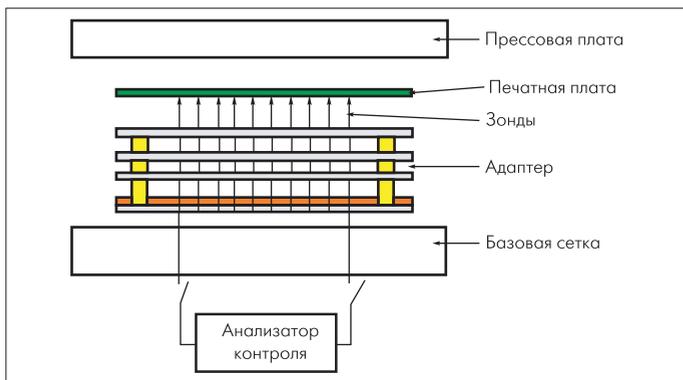


Рис.2. Структура тестера с адаптером

связности (т.е. обнаружения коротких замыканий/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 ПП, позволяет достаточно точно локализовать обрывы. Проверка даже самой сложной платы данным методом занимает всего несколько секунд.

Узкое место с точки зрения универсальности в подобных установках — сама адаптерная часть. Самой дешевой (но и наименее универсальной) является такая конструкция адаптера, в которой привода идут непосредственно от патронов зондов к измерительной части. 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. Такая конструкция пользуется наибольшим спросом у российских производителей в связи с широкой номенклатурой и малой серийностью изделий.

*ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2003, №7, с.46–52.

сом у российских производителей в связи с широкой номенклатурой и малой серийностью изделий.

Проблема переналадки решается применением стандартизованных 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. Однако применение таких адаптеров затрудняют два фактора: даже при небольшом давлении на один зонд (500–800 Н) 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 затруднительно. Для подобных плат обычно применяются дополнительные переходные адаптеры (с одного шага на другой), изготавливаемые индивидуально под каждое изделие.

Подвижные зонды.** Для 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.3). При контактировании происходит подача и измере-

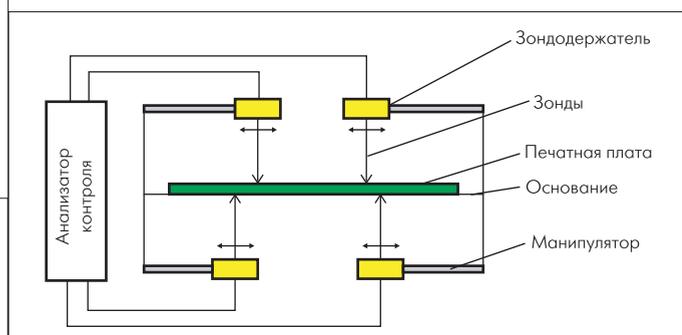


Рис.3. Структура тестера с подвижными зондами

ние сигнала. Для контроля этим методом не требуются дополнительные адаптеры, а для перехода от одной платы к другой достаточно лишь изменить программу тестирования. Отсутствие необходимости в изготовлении тестовых адаптеров, разработка программы перемещения зондов методом трансляции из САПР значительно сокращают время подготовки тестовой программы и перехода от одной платы к другой. Вместе с тем высокой производительности тестирования данный метод не обеспечивает.

"Летающие матрицы". Метод относительно новый. При его разработке предполагалось решить основные проблемы существующих систем тестирования: упростить переналадку (системы с адаптером) и повысить производительность (системы с подвижными зондами). При этом методе на каждой каретке размещается матрица щупов, каждый щуп которой может независимо перемещаться по оси Z. 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.4). Благодаря этому возможно проведение 100%-ного контроля для любого варианта размещения тестируемых контактных площадок (на верхней стороне, на нижней и на обеих сторонах ПП). Матрицы перемещаются на короткие расстояния по осям X и Y с высокой скоростью, при этом наиболее близко расположенный к точке тестирования зонд активизи-

**ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №6, с.86–88.

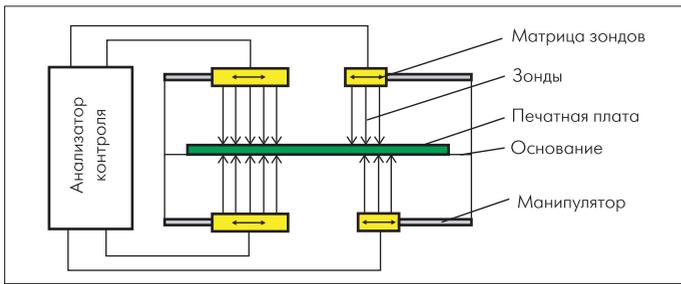


Рис.4. Структура тестера с летающими матрицами

руется 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 [3] каждая большая матрица имеет 285 зондов (19 столбцов, 15 рядов), а каждая маленькая 75 зондов (5 столбцов, 15 рядов) (рис.5).

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 усложняет механизм.

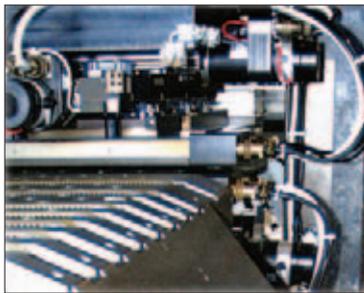


Рис.5. Матрица зондов в установке New System S24-25

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 его поверхности.

Один из основных показателей тестирующих систем – минимальный шаг, с которым система способна 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.

Важное достоинство систем с летающими матрицами – возможность одновременно тестировать несколько цепей на плате (для несложных ПП). В этом случае тестирование выполняется параллельно с использованием двух измерительных систем. Все это приводит к быстродействию до 70 тест/с, что в 10 раз превышает аналогичные характеристики систем с подвижными щупами. А применение автоматических загрузчиков позволяет использовать установки такого типа в три смены, обеспечивая требуемую производительность и окупаемость.

ЗОНДЫ

В основе электрического контроля лежит наличие системы "зонд–проводник платы–зонд" или "зонд–проводник платы–компонент–проводник платы–зонд". И наиболее ответственная часть установок контроля – сам тестовый зонд, поскольку именно от качества контактирования зависит достоверность информации, полу-

чаемой 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 может иметь различные формы (коронка, игла, воронка и др.), которые определяются 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.

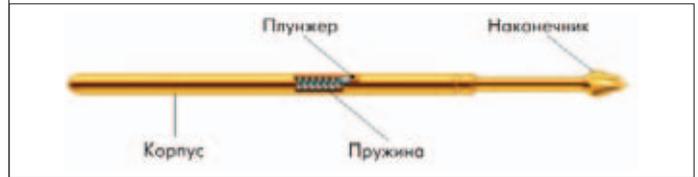


Рис.6. Тестовый зонд для адаптерного метода

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 г). 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 собой 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 неприменим, поскольку добавляется погрешность позиционирования каретки. В этом случае применяется автоматическое базирование по тестовым купонам или реперным знакам. Если используются тестовые купоны, то производится электрическим способом измерение их координат, а по ним рассчитывается базовая точка отсчета. Для более точного и быстрого нахождения начала координат применяется метод оптического измерения с помощью видеокамер – с использованием ПО по изображению реперного знака определяется его центр и вычисляются координаты. Это позволяет компенсировать угловой поворот и смещение заготовки относительно базы станка, 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: на целостность и на разобщенность цепей. При N тестируемых цепей число тестирований для теста на целостность равно N , а для теста на разобщенность – $N(N-1)/2$. Как видно, в общем случае для теста на разобщенность требуется значительно большее время тестирования, поэтому важная часть систем тестирования составляет ПО, позволяющее оптимизировать тестовую программу.

При тестировании в качестве исходных данных выступает информация о разводке ПП (список цепей, данные о близко располо-



женных цепях и т.д.). Список цепей может быть создан тремя путями: с использованием эталонной платы, исходя из данных Gerber-формата и заимствования из данных САПР.

В первом случае список цепей и программа создаются методом самообучения по эталонной плате. Данный метод применим только для технологий летающих матриц и подвижных зондов. Его преимущество в том, что подготовка тестирования занимает очень мало времени, так как не требуется анализа платы. Однако метод имеет и недостатки: во-первых, сложно получить эталонную плату, а во-вторых, если эталонная плата содержит дефект (дефект на пленке, ошибки Gerber-файла), в процессе производства его обнаружить невозможно. Таким образом, этот метод достаточно сложный и в значительной степени зависит от возможности получения эталонной платы.

В случае использования Gerber-данных список цепей воссоздается с помощью программных средств. Преимущества этого метода – в отсутствии необходимости в эталонной плате и, кроме того, в возможности обнаружения 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). Метод намного проще предыдущего, однако не позволяет выявлять все возможные ошибки.

Оптимальным методом получения списка цепей является использование данных САПР. Его преимущества: отсутствие 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 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 информацию для тестирования, только начинают внедряться в производство (ODB++).

И все же, как правило, для получения списка цепей используют Gerber-данные, что связано со следующими факторами. Обычно данные САПР дорабатываются в программах АСУ ТП (корректируют-

ся ошибки, формируется 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 или невозможно найти формат списка цепей, соответствующий нужному тестеру. Данные формата Gerber используются на станциях ремонта.

Подготовка данных из Gerber-файла осуществляется 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 генерированными 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. При требовании невысокой производительности рекомендуется применять установки с подвижными зондами. Для высокопроизводительных многономенклатурных производств наиболее оправданы летающие матрицы с автоматическими загрузчиками. Для крупносерийного производства с небольшой номенклатурой рекомендуется применять адаптерный метод. При выборе оборудования следует также обращать внимание на поставляемое в комплекте ПО.

Автор выражает благодарность Выборнову Петру Михайловичу и Медведеву Аркадию Максимовичу за помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.pcbfab.ru
2. **Медведев А. М.** Надежность и контроль качества печатного монтажа. – М.: Радио и связь, 1986.
3. www.new-system.com