

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Чибирев А.В.¹, Рябов И.В.²

¹Чибирев Александр Владимирович – магистрант;

²Рябов Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор,
кафедра проектирования и производства электронно-вычислительных средств,
Поволжский государственный технологический университет,
г. Йошкар-Ола

Аннотация: в статье рассматриваются современные методы тестирования печатных плат, общие понятия контроля плат, целесообразность его внедрения на производство. Описаны статические и динамические параметры контроля волнового сопротивления, влияющие на точность работы микроэлектроники, изучено и описано влияние кабеля измерительных приборов на достоверное показание волнового сопротивления на печатной плате. Смоделирована математическая модель, учитывающая влияние кабеля на окончательные показания волнового сопротивления.

Ключевые слова: печатные платы, тестирование печатных плат, электрический контроль, оптический контроль, волновое сопротивление, импеданс.

Современный мир нельзя представить без использования электроники. Она успела стать неотъемлемой частью нашей жизни. Электронные изделия динамично применяют как в быту, так и в промышленности. Условия эксплуатации их разнообразны и зависят от сферы использования. К ним предъявляются требования по надежности. Наибольшие требования по отказоустойчивости устанавливают промышленная, военная, авиационная, и космическая сферы, где изделия рассчитаны на продолжительный период эксплуатации в жестких условиях использования.

Но необходимо осознавать, что создание и изготовление современного электронного оборудования и приборов невозможно без производства печатных плат. Печатные платы (ПП) – это элементы конструкции радиоэлектронных средств (РЭС), представляющие собой совокупность диэлектрического основания и электропроводящего (металлизированного) рисунка. Повсеместная миниатюризация электроники приводит к уменьшению размеров печатных плат, вследствие чего сокращаются геометрические размеры проводников. Это прямо пропорционально влияет на сложность диагностирования печатных плат.

Около трети отказов электронных изделий совершается из-за дефектов печатных плат. Причина происхождения, которых кроется в использовании некачественных материалов или несоблюдении технологических процессов изготовления ПП. Для успешного выявления и локализации дефектов обычно осуществляют активный контроль и диагностирование изделия на технологических стадиях его производства.

Надежность электронных изделий во многом обуславливается качеством ПП, главным элементом которых является топология. Целью любого контроля является обнаружение любых дефектов. В настоящий период в производстве используют оптический, электрический, рентгеновский, тепловой и прочие типы контроля. При этом процесс контроля должна быть произведен за короткий период времени с минимальными затратами ресурсов [1].

Рассмотрим наиболее популярные типы контроля:

Оптический контроль – метод основанный на сравнение топологий изготовленной печатной платы с ее эталонным изображением. Существует ручная и автоматическая проверка. Для ручной проверки используются монокулярные, бинокулярные и безокулярные микроскопы. При визуальном контроле зрительная и психологическая утомляемость оператора приводит к пропуску дефектов. Во избежание человеческого фактора используются автоматические оптические системы, которые позволяют повысить скорость и качество контроля. Этот метод чаще всего используют для односторонних и двухсторонних плат. В многослойных платах же каждый слой проверяется отдельно и komponуются в одну плату. После прессования ни оператор, ни система не смогут увидеть внутренние слои платы и проверить ее топологию [2].

Электрический контроль – метод, основанный на применение электрических сигналов для определения целостности проводников. Такой способ дает большие возможности для тестирования, так как можно проверить целостность проводника готовой платы, отсутствие короткого замыкания между проводниками. Так же можно замерить потери тока через проводник и емкость между слоями. Основные методики электрического контроля – ручной и автоматизированный.

При ручном методе оператор щупами последовательно проводит тест всех цепей с помощью тестера. Такой метод увеличивает тестирование во много раз по сравнению с автоматизированными средствами, так же не все параметры измерения будут точными.

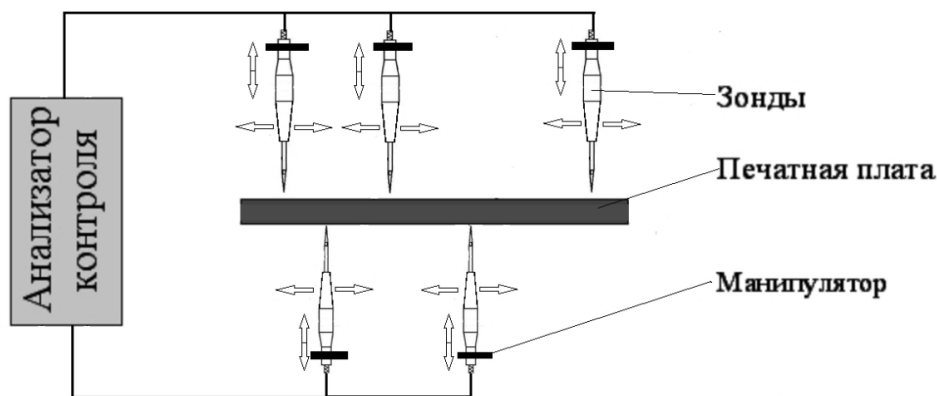


Рис. 1. Схема метода тестирования печатных плат «летающими щупами»

Подвижные зонды – этот метод подразумевает под собой передвижение щупов на плате и тестирую проводники по очереди, что увеличивает время тестирования. Особенность такого метода является универсальность, применимость ко всем печатным платам. Каждый зонд перемещается независимо друг от друга. Такой метод преимущественно подходит для мелкосерийного и среднесерийного производства.

Адаптерный метод (матрица зондов) – самый быстрый метод тестирования на данный момент, но стоимость производства таких матриц выше по сравнению с подвижными зондами. Это зависит от того что каждый адаптер создается индивидуально для определённой платы, на таком приборе все размещенные на нем зонды находятся в контакте с контрольными точками и скорость контроля определяется быстродействием переключающих ключей. Проверка сложных плат занимает всего несколько секунд [3].

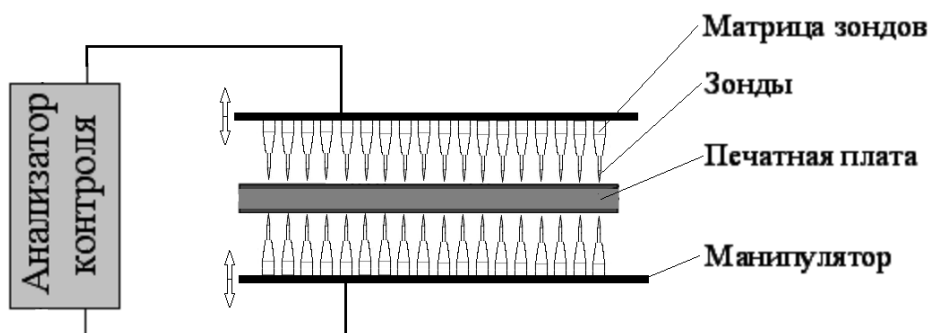


Рис. 2. Схема тестирования «летающими матрицами»

В настоящий период электронные приборы все чаще имеют дело с высокими скоростями передачи информации. Это требует применения печатных плат с (контролируемым импедансом) – с целью исключить искажений сигнала при передаче по проводникам.

Проводник в печатной плате – это уже никак не просто дорожка, объединяющая контактные площадки и переходные отверстия, а точнее (линия передачи), что передает сигнал в высоких скоростях с небольшими потерями формы, амплитуды и скорости.

Тактовые частоты сигналов в печатных схемах зачастую близятся к 100МГц диапазону, а у микросхем - в том числе и к гигагерцевому диапазону. Всё наиболее значимой для создателей становится задача расчёта волнового сопротивления проводников в печатной плате. Данное, кстати, важно и в многих обычных цифровых схемах с большой крутизной нарастания сигналов. Период переключения интегральных микросхем уже сегодня упало вплоть до наносекунд. Как результат, в схеме появляются высокочастотные физические процессы, которые вплоть до сих пор не всегда принимаются во внимание, однако могут значительно оказать воздействие на работоспособность схемы.

Импедансом именуется отношение комплексной амплитуды напряжения гармонического сигнала, прикладываемого к двухполюснику, к комплексной амплитуде тока, протекающего через двухполюсник. При данном импеданс не обязан зависеть от времени.

Величина волнового сопротивления (импеданса) зависит с многочисленных параметров это геометрических размеров проводника ширины и высоты, дистанции между проводниками и опорного слоя (земли либо питания) а так же диэлектрической проницаемости диэлектриков [4].

Существует четыре вида волнового сопротивления:

- Простое: образуется благодаря влиянию одиночного печатного проводника на плоскости питания.
- Дифференциальное: образуется благодаря влиянию двух параллельно расположенных печатных проводников, которые могут взаимодействовать с плоскостями питания.
- Копланарное: образуется благодаря влиянию одного проводника вложенному (окруженному) в проводники или плоскости. Сигнал может взаимодействовать с одной или двумя плоскостями питания.
- Дифференциальное копланарное: образуется благодаря влиянию инверсных сигналов в двух параллельно расположенных печатных проводниках, вложенных в находящиеся под потенциалом плоскости и взаимодействующих с одной или двумя плоскостями питания.

Контролируемый импеданс поднимает на новый уровень сам процесс проектирования, выбора материала, структуры, а кроме того процесс изготовления печатных плат. В том числе и диэлектрические характеристики паяльной маски могут оказать воздействие на значение волнового сопротивления [5].

В процессе контроля импеданса необходимо учитывать, как статические, так и динамические параметры:

Статические:

- расстояние между слоями (В),
- ширина (W) проводника
- толщина проводника (Т)
- диэлектрическая характеристика (проницаемость) материала (ϵ_r -величина).

Динамические:

- активное сопротивление,
- погонная индуктивность,
- погонная емкость,
- частота сигнала в проводнике.

Микрополосковая согласованная линия передачи (дорожка на плате), изображенная на рисунке 3, имеет возможность проходить на любой стороне платы; она использует слой земли, находящийся непосредственно под ним в качестве плоскости базового заземления.

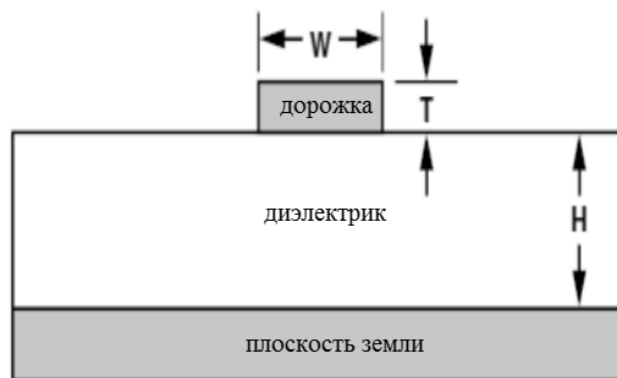


Рис. 3. Микрополосковая линия передачи

Для расчета характеристического волнового сопротивления линии на плате на примере текстолита FR4 необходимо пользоваться формулой 1.

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \left[\frac{5.98H}{0.8W + T} \right] \quad (1),$$

где H – расстояние от плоскости земли до дорожки, W – ширина дорожки, T – толщина дорожки; все размеры в милах (1 мил = 10^{-3} дюйма).

Все размеры в милах (1 мил = 10^{-3} дюйма) — единица измерения расстояния в английской системе мер, равная 1/1000 дюйма. Используется в электронике, а также для измерения диаметра тонкой проволоки, зазоров или толщины тонких листов. 1 мил = 1/1000 дюйма = 0,0254 мм = 25,4 микрометра.

Полосковая согласованная линия (рис. 4) использует два слоя плоскости земли и находящуюся между ними сигнальную дорожку. Этот способ использует больше дорожек, поэтому он обычно применяется только в устройствах с повышенными требованиями.

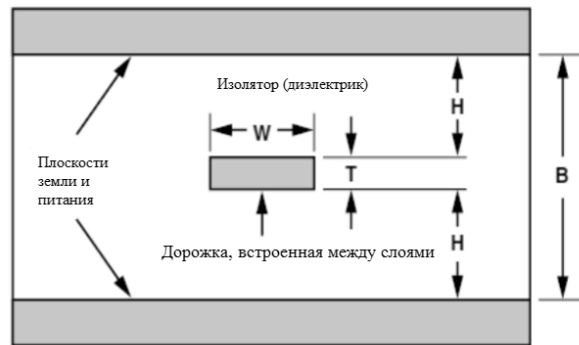


Рис. 4. Полосковая линия передачи

Уравнение для расчета характеристического волнового сопротивления полосковой линии:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left[\frac{1.9(B)}{0.8W + T} \right] \quad (2)$$

Но для более высокой проверки контроля проводников применяемых в высокочастотном оборудовании которые используются в космической отрасли, в медицинской и других сферах нужно учитывать импеданс проводника в кабеле который соединяет измерительный щуп и прибор. (картинку) в итоге получаем формулу которая компенсирует волновое сопротивление в кабеле прибора. В таблице 1 показана зависимость ширины проводника от толщины с внутренними слоями ламината толщина 200 мкм и двумя слоями препрега толщина 60 мкм, материал RF4, $\epsilon_r=4,5$

Таблица 1. Волновое сопротивление модуля

Ширина проводника, мкм	Толщина проводника, мкм		
	5	17	35
300	29.4	27.0	23.6
200	38.1	34.8	30.3
150	44.8	40.8	35.5
120	50.2	45.5	39.5
100	54.7	49.3	
80	60.2		

В виду того что в современном расчете высокочастотных приборов качество передачи сигналов нужно поддерживать на высочайшем уровне, нужно учитывать волновое сопротивление кабеля которое соединяет измеряющие щупы и измерительный прибор для наиболее достоверного результата, в связи с этим нужно рассчитать волновое сопротивление кабеля, зачастую кабель используют экранированный (коаксиальный).



Рис. 5. Коаксиальный кабель

Значение волнового сопротивления кабеля характеризуется соотношением погонных индуктивности и емкости. Отсюда вытекает, что оно находится в зависимости от размеров, формы и взаимного месторасположения проводников в его поперечном сечении и диэлектрической проницаемости материала внутренней изоляции, разделяющего проводники.

$$Z_1 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \left[\frac{d_1}{d_2} \right] \quad (3)$$

Где Z_1 - волновое сопротивление проводника кабеля, d_1 - диаметр внешнего проводника, d_2 - диаметр внутреннего проводника, ϵ_r - относительная диэлектрическая проницаемость изолятора (диэлектрика) [6].

На рисунке 6 представлена упрощенная схема подключения измерительного прибора во время измерения волнового сопротивления печатной платы.



Рис. 6. Схема подключения измерительного прибора

Конечные достоверные показатели волнового сопротивления рассчитываются по формуле 4, рассчитываются как разница показания сопротивления на приборе и значение сопротивления в кабеле.

$$Z_0 = Z_2 - Z_1 \quad (4)$$

Где Z_2 - показания на измерительном приборе, Z_1 - значение сопротивления в кабеле, Z_0 - достоверное показание волнового сопротивления на печатной плате.

Замысел модернизации заключается в более точной проверке контроля проводников, применяемых в высокоточном оборудовании, которые используются в космической отрасли, в медицинской и других сферах. При таком измерении волнового сопротивления на самой печатной плате, учитывается сопротивление в передающем кабеле и рассчитывается точное значение импеданса, это способствует увеличению годной выпускаемой продукции на производстве и повысит качество электронных изделий. Такой метод предоставляет возможность обнаружить погрешности и сбои в целом ряде этапов формирования печатных плат для высокочастотных приборов. Его применение дает возможность выявлять ошибочные настройки либо случайные неполадки в технологическом процессе, осуществлять контроль качество материалов, из которых производятся платы, а кроме того исключать ошибки в конструкторской документации, допущенные разработчиками плат.

Список литературы

1. Кумбза К.Ф. Печатные платы. Справочник Мир электроники. Книга 2. Изд-во Техносфера, 2011. 1016 стр.
2. Шухард П. Особенности выбора системы оптического контроля / П. Шухард // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы, 2011. № 6. С. 54–56.
3. Валетов В.А. Основы производства радиоэлектронной аппаратуры./ Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007-112 с.
4. Контроль импеданса на печатной плате. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pcbtech.ru/kontrol-impedansa-na-pechatnoj-plate/> (дата обращения: 18.04.18).
5. Волновое сопротивление и многослойность печатных плат Арнольд Вимерс (Arnold Wiemers) ©Перевод ELLWEST KG (Austria) ILFA GmbH (Germany).
6. Гроднев И.И., Фролов Н.А. Коаксиальные кабели связи. М.: Радио и связь, 1983. 209 с.