

Измерение контролируемого импеданса в дифференциальном режиме

В статье поясняется один из наиболее трудных аспектов измерения контролируемого импеданса — дифференциальный режим. Немногие пользователи знают, что существует по крайней мере два различных вида дифференциальных измерений, а производители иногда вводят пользователей в заблуждение относительно реальных возможностей выпускаемого ими измерительного оборудования.

**Скотт Меррел
(Scott Merrel)
Гаэтано Даллора
(Gaetano Dall'Ora)
Андрей Мусин**

andrey_musin@rts-engineering.ru

Введение

Контроль импеданса — типовое требование, предъявляемое к производителям печатных плат уже в течение многих лет, однако оно всегда относилось к ограниченному набору видов изделий. Сегодня границы этого требования расширяются, и оно становится все более универсальным, так как рабочие частоты электронных изделий повышаются, и все большее число производителей печатных плат встают перед необходимостью осваивать эту технологию у себя на предприятии.

Мировая тенденция такова, что большинство разработчиков электроники (особенно в отраслях военно-промышленного комплекса, аэрокосмической и коммуникационной) теперь используют печатные платы с контролируемым импедансом. Это необходимо для повышения помехозащищенности и уменьшения ошибок при передаче сигнала на высокой частоте.

На высоких частотах проводники печатной платы уже не могут рассматриваться как простые «отрезки проволоки». Известно, что передача сигналов без искажений возможна в том случае, когда проводник выполняется как линия передачи с заданным импедансом, постоянным на всем протяжении от источника к приемнику сигнала. По сравнению с обычным проводником линия передачи не приводит к искажению сигнала, какой бы длинной она ни была. Линии передачи реализуются на печатной плате при соблюдении технологии производства, заданных материалов, геометрических размеров проводников и других элементов печатной платы.

Когда высокочастотный сигнал должен проходить через различные линии передачи, импеданс этих линий должен быть согласован, и согласно теории оптимальная ситуация достигается в случае полного согласования импеданса различных сред передачи сигнала. Всякий раз, когда импеданс изменяется,

часть сигнала оказывается потерянной в связи с затуханием или искаженной из-за отраженной помехи.

В настоящее время типична ситуация, когда платы для высокочастотных изделий изготавливаются с соблюдением определенных заданных значений импеданса для определенных проводников.

Измерение импеданса на печатных платах выполняется с помощью специальных инструментов, реализующих методы динамической рефлектометрии (Time Domain Reflectometry, TDR). Это особое требование стандартов IPC. На рынке есть и другие инструменты для измерения импеданса на базе иных методов, но такие измерения не одобрены Ассоциацией IPC.

Как же работает динамическая рефлектометрия? Принцип работы TDR: по линии передачи посылается импульс, затем фиксируется его отражение и вычисляется распределение волнового сопротивления проводника по всей его длине. Результирующая форма сигнала состоит из посланной волны и отраженной. По форме сигнала можно судить об изменении импеданса по длине линии.

Основными линиями передачи, реализуемыми на печатных платах, являются микрополосковая линия и дифференциальная пара.

Несимметричные измерения

Первое и наиболее простое измерение по методу динамической рефлектометрии — это так называемое несимметричное измерение. В этом случае измеряется импеданс одиночного проводника (микрополосковой линии). На заготовке обычно размещается особый измерительный проводник, называемый купоном. На одном из концов проводника выполнена пара отверстий. Одно предназначено для сигнала и соединено с проводником, второе — опорное и подсоединено к «земле». На рис. 1 приведен пример купона одиночной микрополосковой линии.



Рис. 1. Пример купона одиночной микрополосковой линии

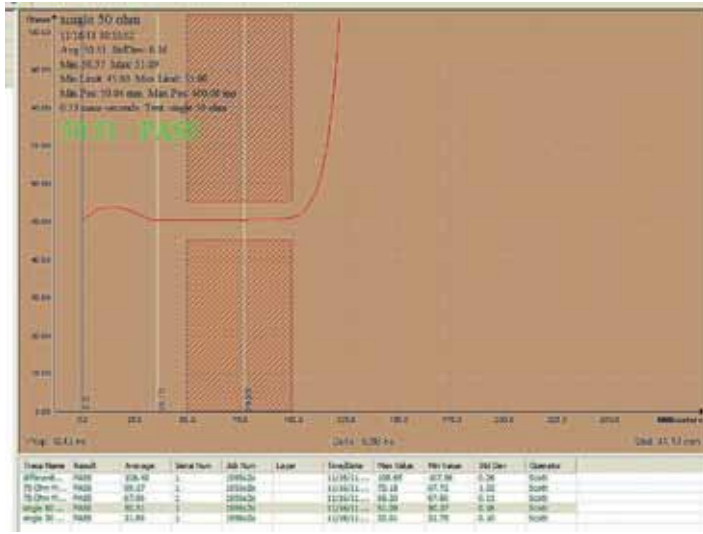


Рис. 2. Скриншот результатов измерений импеданса

Инструмент, реализующий метод динамической рефлектометрии, подает на проводник положительный импульс. У этого импульса очень короткий фронт (<100 пс): чем короче фронт импульса, тем совершеннее измерительный инструмент.

Импульс проходит до конца проводника и отражается обратно к измерительному пробнику. После обработки полученного сигнала с помощью сложных алгоритмов метода динамической рефлектометрии производится дискретизация отраженного сигнала и вычисление импеданса тестового проводника по всей длине с дискретностью три значения на мм. Результаты обрабатываются и отображаются на дисплее в виде численных значений (максимального и минимального значений импеданса и статистического разброса) и графика (рис. 2).

Измерения проводятся на тест-купоне, так как он является идеальной микрополосковой линией, не содержит неоднородностей, может быть адекватно рассчитан (имеется большое количество калькуляторов, как отдельных, так и встроенных в CAD), прогнозируемо воспроизведен и в этой связи может быть использован как приемо-сдаточный элемент. В принципе может быть замерен любой проводник на плате, но так как в общем случае он содержит неоднородности (локальные изменения ширины, переходные отверстия и т. п.), значение его импеданса может служить только справочной характеристикой, а никак не приемо-сдаточной.

Дифференциальные измерения

Долгое время несимметричные измерения были единственным доступным видом измерений, однако с появлением новых требований, повышением частоты передачи сигнала

по печатной плате и разработкой инновационных схмотехнических решений появилась необходимость в проведении измерений на дифференциальных парах, используемых для передачи дифференциального сигнала. Дифференциальная пара состоит из двух линий передачи. Каждая линия может представлять собой обычную полосковую или микрополосковую линию передачи. Важным свойством является то, что временная задержка в дифференциальных линиях должна быть согласована так, чтобы фронт и спад сигналов в отдельных линиях были точно и четко определены. Любое различие во временной задержке между двумя линиями или иное рассогласование между ними приведут к тому, что дифференциальный сигнал будет преобразован в сигнал общего вида. Электромагнитная связь между двумя проводниками не обязательна, но важное преимущество дифференциальных пар — помехоустойчивость — теряется, если ее нет. Связь между двумя линиями передачи в составе дифференциальной пары позволит дифференциальным сигналам распространяться с меньшими помехами, возникшими от других активных цепей, чем одиночным сигналам. Чем больше связь, тем более устойчивыми будут дифференциальные сигналы к внешним возмущениям и несовершенствам конструкции.

В рамках этого вида измерений одновременно тестируются два проводника на тест-купоне (рис. 3). Конструкция проводников и мотивация использования тест-купона аналогична изложенной в предыдущем разделе.



Рис. 3. Пример тест-купона дифференциальной пары

Это означает, что с помощью специального пробника два импульса одновременно подаются по одному на каждый проводник. Однако существуют различные режимы выполнения таких измерений.

Неравный дифференциальный режим

Неравный дифференциальный режим (также называемый «истинным дифференциальным») является наиболее совершенным и точным. Именно он обычно требуется для контроля плат согласно современным техническим требованиям. В неравном дифференциальном режиме на один проводник подается положительный импульс напряжения, а на другой — отрицательный. Импульс проходит до конца каждого проводника и отражается обратно к измерительному пробнику. Затем сигналы с обоих проводников дискретизируются и обрабатываются по отдельности в один и тот же момент времени.

При работе в неравном дифференциальном режиме инструмент рефлектометрии должен одновременно подавать положительный сигнал на один проводник и отрицательный — на другой. Это означает, что потребуются обеспечить одновременную выработку двойного разнополюсного сигнала по напряжению. Такое требование вызвало необходимость проведения дополнительных разработок, так как генерация отрицательного сигнала гораздо более сложна, чем положительного. Чтобы достаточно быстро сгенерировать соответствующий положительному отрицательный сигнал для заданной полосы частот, производители измерительных инструментов в большинстве случаев должны были разрабатывать свои собственные микросхемы.

Равный дифференциальный режим

Некоторые производители измерительного инструмента обошли эту проблему с помощью небольшой хитрости и представили равный дифференциальный режим. В этом случае на оба проводника одновременно подаются одинаковые положительные импульсы. Это очень легко реализовать, в том числе с помощью инструмента для несимметричных измерений, и не требует от производителей инструментов никаких дополнительных разработок.

Измерениям в равном дифференциальном режиме присуще принципиальное ограничение по диапазону. При выполнении измерений в этом режиме нижний предел значения импеданса, который возможно измерить, зависит от наименьшего значения напряжения, которое можно выделить из помех. Так как генерируется только положительное напряжение, это значение находится между положительным напряжением и «землей» (нулем). В неравном режиме в измерениях присутствует как положительное, так и отрицательное на-

пряжение, и таким образом абсолютное значение разницы напряжений удваивается. Это означает, что измерения малых значений импеданса в неравном режиме могут дать более точные значения, чем в равном. Наблюдается тенденция в сторону перехода к более высоким частотам, и вследствие этого при работе по методу динамической рефлектометрии требуется генерировать описанные выше положительные и отрицательные сигналы со все более и более высокими частотами и короткими фронтами. Время нарастания импульса определяет реальную разрешающую способность системы, а повышенные частоты позволяют выполнять измерения на более коротких проводниках.



Рис. 4. Измеритель импеданса ST 600 компании Zmetrix

Поэтому внимательно относитесь к ситуации, когда необходимы дифференциальные измерения, и четко осознавайте, каковы ре-

альные требования к вашим изделиям и что может выбранный вами измерительный инструмент на самом деле.

Заключение

Дифференциальные измерения предпочтительно выполнять в неравном или истинном дифференциальном режиме. Все инструменты компании Zmetrix (рис. 4) стандартно предоставляют возможности неравного дифференциального режима, и только по запросу поставляется специальный недорогой пробник для выполнения менее точных измерений в равном дифференциальном режиме.