

"Так же, как в жизни, в электронике достоверно – лишь то, что недостоверно."

Джон Аллен Полос

ЛИНИЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА С ЧАСТОТОЙ 10 ГГц

М.Годайон

Статья производителя средств измерения импеданса адресована как инженерам-конструкторам, так и производителям скоростных многослойных печатных плат с мультигигабитными интерфейсами связи, и помогает понять, как контролировать импеданс линий передачи [1]. Всегда ли достаточно тех измерений, которые проводят производители печатных плат с помощью типовых приборов TDR*

"Является ли 10-гигабитная линия передачи действительно 10-гигагерцовой?" Казалось бы, простой вопрос. Можно получить разные ответы на этот вопрос, но скорее всего вы услышите: "Зависит от обстоятельств".

Конечно, частота передачи 10 ГГц соответствует частоте сигнала, равной 10 ГГц, правильно? Однако иногда документация на микросхемы скоростных интерфейсов под частотой передачи имеет в виду число передаваемых в секунду разрядов данных. D

В некоторых случаях линия связи со скоростью передачи 22 Гбит/с может быть, например, сформирована парой каналов со скоростью передачи 11 Гбит/с или даже четырьмя параллельными каналами со скоростью 5,5 Гбит/с. А если мы примем во внимание, что данные могут защелкиваться на положительных и отрицательных фронтах синхроимпульса, то его тактовая частота фактически может быть равна 2,25 ГГц. Таким образом, вы неожиданно спускаетесь с фантастически высокой частоты

на "реальный" частотный уровень. И теперь вы, как производитель платы, вместе с ее разработчиком должны "докопаться до истины", чтобы определить истинную природу тестируемого канала передачи.

На вопрос, который часто задают фирме Polar Instruments: "Можно ли проверять мою 1-, 2-, 5-, 10-, 20-ГГц печатную плату при помощи типового рефлектометра TDR?", мы отвечаем – "это зависит от обстоятельств". Оговорка "это зависит от обстоятельств" дает ответ на вопрос, существенны ли потери сигнала на частоте тестирования. Если при моделировании длина линии, частота передачи и тип ламината вносят незначительные потери, то волновое сопротивление линии на высоких частотах практически не будет зависеть от частоты. Импеданс такой линии может быть проверен с помощью TDR при времени нарастания импульса как 15, так и 250 пс. Единственный фактор, требующий особого внимания при уменьшении длительности фронта импульса, – обеспечение более тщательной защиты от воздействия помех при измерении.

Если моделирование сигнала показывает существенные потери, простая проверка импеданса при помощи TDR может оказаться

* Определение импеданса линии на современных заводах по производству печатных плат, как правило, производится путем измерения параметров отраженного из «оборванной» линии импульса (Time Domain Response).

некорректной, независимо от длительности фронта проверочного импульса. В этом случае требуется более полный анализ поведения сигнала, включая исследование потерь на различных частотах. Такой анализ может быть выполнен либо при помощи векторного анализатора цепей (VNA), либо при помощи TDR со специальным программным обеспечением, позволяющим получить как частотную информацию, так и данные о потерях. Методы измерения описаны в стандарте ТМ-650 (Руководство по методике испытаний) Ассоциации IPC [2].

Обычно производителей печатных плат при освоении тестирования с помощью TDR смущает метод измерения волнового сопротивления (импеданса). "Цепь тестового купона в конце оборвана, поэтому его сопротивление должно быть бесконечным!". Но это утверждение верно только для постоянного тока (рис.1 и 2), тогда как для высокочастотного сигнала импеданс определяется уравнением:

$$z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Из графиков на рис.1 и 2 видно, что импеданс почти не меняется в диапазоне частот от

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Мартин Годайон, исполнительный директор компании Polar Instruments, начал карьеру в компании Tektronix в начале 1980-х, где отвечал за испытания, проводимые с помощью широкополосных портативных осциллографов. В компанию Polar Годайон пришел в 1990 году. Отвечал за проектирование и разработку устройства обнаружения коротких замыканий многослойных плат Toneohm 950. В 1997 году, когда тестирование волнового сопротивления изделий стало главным направлением исследований компании, Годайон стал менеджером по маркетингу в компании Polar. В январе 2001 года он был назначен директором по сбыту и маркетингу, а в январе 2010 утвержден президентом Polar Instruments. Годайон – автор ряда статей, опубликованных во многих отраслевых изданиях по печатным платам. Он постоянно сотрудничает с IPC в области разработки стандартов тестирования и проверок высокоскоростных, высокочастотных печатных плат.

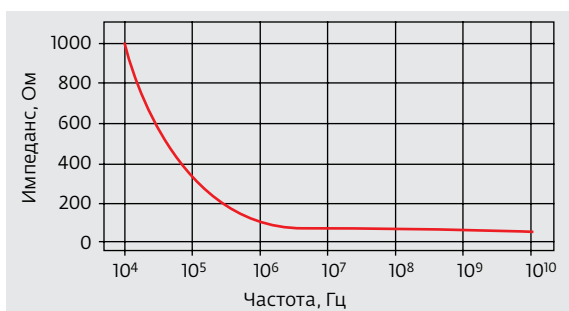


Рис.1. Импеданс 50-Ом линии на низких частотах стремится к бесконечности

10 МГц до 100 ГГц. Однако что же еще происходит при увеличении частоты сигнала? Пока импеданс не меняется, увеличение частоты приводит к росту потерь. Отметим, что на частотах ниже 2 ГГц большинство линий шириной 0,1–0,125 мм даже на обычном стеклотекстолите FR4 со слоем меди толщиной 18 мкм можно считать линиями "без потерь", поскольку значени-

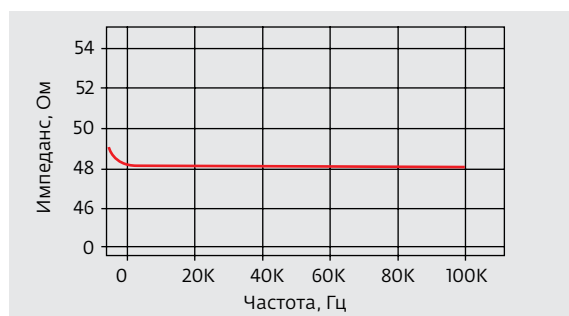


Рис.2. Импеданс 50-Ом линии на частоте от 1 до 100 ГГц существенно не меняется

ями этих потерь можно пренебречь. Импеданс в этом случае можно проверить на обычном оборудовании TDR.

При частоте сигнала выше 2 ГГц потери могут быть более существенными. Это зависит

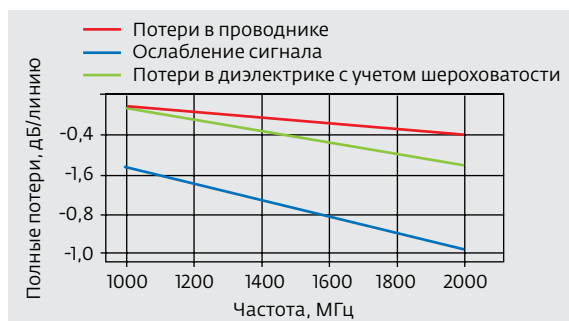


Рис.3. Зависимость потерь в линии длиной 75 мм на FR4 от частоты

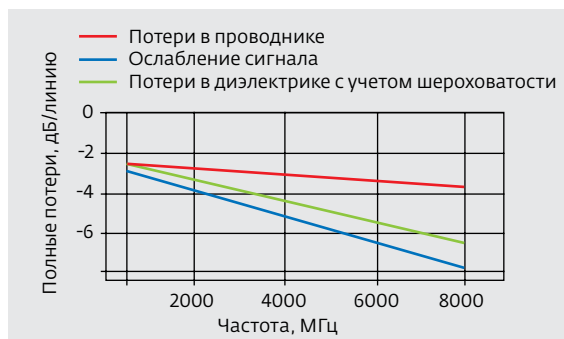


Рис.4. Частотная зависимость потерь в линии длиной 150 мм на FR4

как от толщины медного слоя и шероховатости его поверхности, так и от типа применяемого диэлектрика. В этом случае для определения влияния потерь на качество передачи сигнала проводится и моделирование.

Например, проведенное моделирование показало, что потери в линии длиной 75 мм на FR4 при частоте 2 ГГц составляют всего 1 дБ (рис.3), а при длине линии 150 мм на том же материале и частоте 8 ГГц – превышают 6 дБ (рис.4). Если же принять во внимание шероховатость меди, то потери возрастут почти до 8 дБ (рис.5).

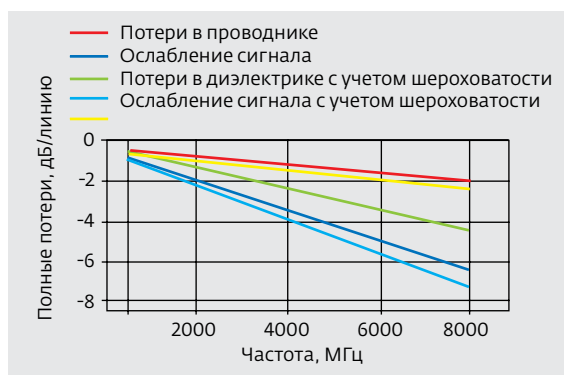


Рис.5. Частотная зависимость потерь в линии с учетом шероховатости меди

Таким образом, когда у предприятия возникает проблема выбора оборудования для тестирования высокочастотных сигналов, следует обратить внимание на характеристики применяемых скоростных интерфейсов и узнать у разработчика, используется ли одиночный канал передачи или нет и какова реальная частота сигнала. После получения ответов на эти вопросы, вместе с разработчиками можно установить требуются ли измерения волнового сопротивления

без учета потерь или необходима информация о потерях.

Все рассмотренное выше подтверждает ответ на вопрос "Когда сигнал передачи 10 Гбит/с не является сигналом с частотой 10 ГГц?" – "Это зависит от обстоятельств".

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.pcbdesign007.com/pages/zone.cgi?a=75188>
2. Propagation Loss Test Methods Task Group (D-24b), IPC-TM-650, N 2.5.5.12, 2009, May.

Авторский перевод А.Акулина
akulin@pcbtech.ru

Комментарий специалиста

Сегодня типовой процесс разработки и заказа печатной платы с контролем импеданса состоит из следующих этапов:

- выбор или расчет "стека" печатной платы (расположение сигнальных и опорных слоев которого, толщина слоев диэлектрика и ширина линий определяет их расчетное волновое сопротивление);
- проектирование топологии печатной платы с учетом этих расчетов;
- отправка файлов на производство с указанием параметров расчета и требований к

контролю импеданса (обычно с допуском $\pm 10\%$);

- получение корректировок с производства (небольшие отклонения от расчетных значений могут быть связаны с особенностями конкретного производства);
- отправка на производство подтверждения от разработчика;
- окончательный запуск в производство заказа со скорректированными параметрами;
- контроль импеданса на тестовых купонах, сопровождающих изготовление каждой заводской панели, и отбраковка плат, не попавших в допуск по импедансу. Методика контроля TDR и ее ограничения описаны в статье;
- поставка готовых плат и протокола контроля импеданса заказчику.

Тем самым гарантируется обеспечение заданного импеданса на печатных платах.

Типовые структуры многослойных печатных плат 4-16 слоев с рассчитанными значениями импедансов можно запросить по адресу pcb@pcbtech.ru

САМОУДЕРЖИВАЕМЫЕ ПРОКЛАДКИ ДЛЯ МОНТАЖА T-1 СВЕТОДИОДОВ

Компания Keystone Electronics выпустила новую серию самоудерживаемых прокладок для монтажа T-1 светодиодов, гарантирующих неизменяемое и перпендикулярное положение прибора при снижении стоимости монтажа. Эти прокладки, входящие в разрастающуюся группу универсальных самоудерживаемых прокладок светодиодов, имеют удерживающие "зубы", прикрепляющие прокладки к выводам светодиода до его монтажа. Такая конструкция исключает и вероятность закорачивания выводов диода путем их разъединения и удержания при установке на печатную плату. И в добавок для присоединения прокладок к светодиоду не требуется дополнительный инструмент.

Прокладки представляют собой литую нейлоновую структуру с включенными в нее опорами длиной 0,5 мм. Они обеспечивают теплоотвод и упрощают чистку после пайки. Общая высота прокладок составляет 3–23,5 мм.