

Электромагнитная визуализация для определения плавающих неисправностей в высокоскоростных устройствах

В статье показано применение электромагнитного моделирования и визуализации поверхностных токов для диагностики и устранения плавающих неисправностей в скоростных графических картах, проявляющихся на тактовых частотах выше 2 ГГц. Кроме того, обсуждается применение этого метода для идентификации обратных путей токов заземления, горячих точек и взаимовлияния сигналов, что позволяет определить оптимальное расположение экранов, переходных отверстий и развязывающих конденсаторов.

Хау-Сянг ЙАП (How-Siang YAP)

Введение

Разработчики печатных плат высокочастотных устройств часто сталкиваются с плавающими неисправностями в готовых печатных платах, которые совершенно не поддаются осциллографической диагностике. Создается ощущение, что проблема исчезает, стоит только прикоснуться к плате пробником. Автор приводит результаты исследования реального случая реализации печатной платы графического адаптера.

Конкурирующие изготовители пытаются превзойти друг друга по производительности изделий, повышая тактовую частоту графического процессора (GPU) (и добавляя все более громоздкие и шумные вентиляторы). Это открывает наиболее экономичный путь повышения графической производительности без переработки GPU или печатной платы.

В рассматриваемом случае разработчик графической карты, в надежде получить при-

рост производительности, повысил тактовую частоту с 400 МГц до 3 ГГц. К сожалению, на частоте около 2,3 ГГц карта перестала работать, и на выходе, соединенном с контрольной дорожкой печатной платы, не удалось обнаружить сигнал тактовой частоты. Разработчик попытался диагностировать проблему с помощью высокоомного пробника, но обнаружил, что при подключении пробника проблема пропадает.

Затем его коллега предложил выполнить планарное электромагнитное моделирование печатной платы и пронаблюдать поверхностные токи на сбойной частоте 2,3 ГГц. Плату быстро импортировали из среды, где она была разработана (Cadence Allegro), в планарный электромагнитный 2.5D симулятор (CAPI Advanced Design System Momentum). Моделирование проводилось в диапазоне частот от 0 до 3 ГГц, причем порты были подключены к контрольной дорожке, передающей сигнал тактовой частоты. С помощью

метода так называемой адаптивной частотной дискретизации (AFS) было выбрано минимальное число значений частоты для эффективного моделирования при заданной точности обнаружения всех резонансов во всем частотном диапазоне.

Как показано на рис. 1, адаптивная частотная дискретизация выявила резонанс на частоте 2,33 ГГц, который не позволял сигналу этой частоты проходить по контрольной дорожке. Но почему это происходило? Вот здесь-то и пригодилась визуализация поверхностных токов. В отличие от физического осциллографического пробника визуализация не оказывает влияния на отображаемый сигнал.

Визуализация поверхностного тока на всей плате показана на рис. 2. Значение тока кодируется соответствующим цветом. Красным цветом выделяется область с максимальным значением тока.

Можно также анимировать поверхностные токи, меняя фазу входных воздействий на исследуемой частоте. В данном случае разработчик анимировал токи на резонансной частоте 2,33 ГГц, найденной с помощью AFS. Сразу же стало видно, что сигнал тактовой частоты поглощается четырьмя регулярно расположенными площадками печатной платы (рис. 3). По случайному стечению обстоятельств эти площадки образовали резонансную структуру, не пропускающую сигнал частотой 2,33 ГГц.

На рис. 4 показано прохождение сигнала частотой 400 МГц по дорожке, на которой резонанс отсутствует.

После визуализации и локализации проблемы решение было почти тривиальным. Разработчик изменил размеры и расположе-

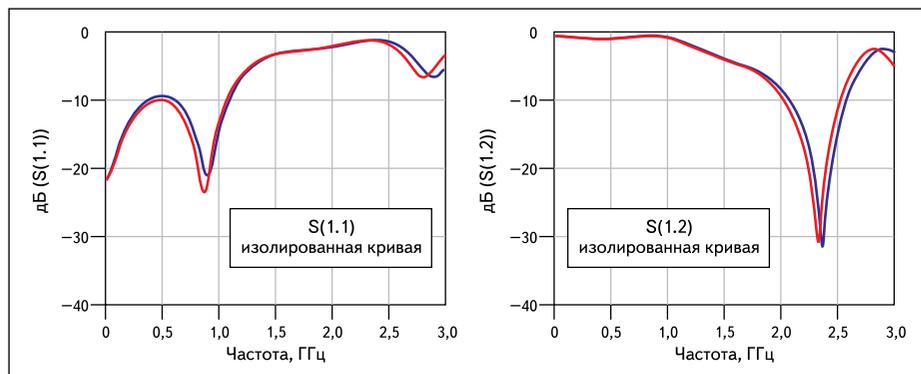


Рис. 1. Адаптивная частотная дискретизация (AFS) автоматически находит резонансные частоты выбранных дорожек печатной платы

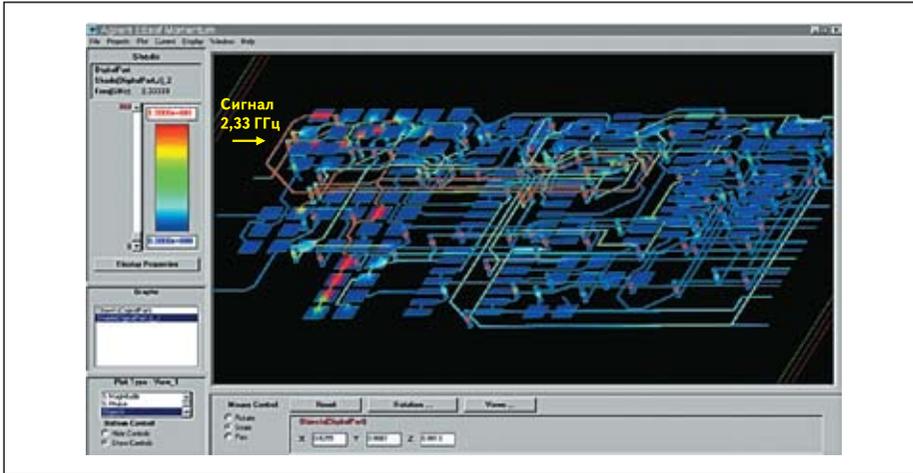


Рис. 2. Визуализация поверхностных токов в планарном электромагнитном 2.5D симуляторе показывает плавающие неисправности на видеокарте

ние площадок, нарушив условие резонанса, которое было причиной отказа. Кроме того, электромагнитное моделирование объяснило, почему установка пробника устраняла проблему. Пробник нарушал и устранял условия возникновения паразитного резонанса. После исправления графическая карта поступила на рынок с тактовой частотой 2,4 ГГц, что позволило компании успешно противостоять конкурентам в сфере игровых видеокарт нового поколения.

Визуализация поверхностных токов и электромагнитного поля дает ценные результаты, которые помогают диагностировать неисправности и избежать проблем, связанных с взаимовлиянием близко расположенных цепей, плохим заземлением, отсутствием развязывающих конденсаторов, горячими точками или электрическими пробоями в силовых компонентах.

Визуализация электромагнитного поля позволяет оценить качество заземления на печатной плате, показывая распределение электромагнитных полей в пути возврата тока через «землю». Обратите внимание, что показанный на рис. 5 ток возврата через «землю» протекает по заземляющему слою печатной платы. Если путь обратного тока образует кольцо, возможно возникновение паразитных индуктивностей в цепи заземления, которые могут препятствовать прохождению высокочастотных сигналов и привести к повышению коэффициента битовых ошибок (BER) или межсимвольных помех (ISI). В таких случаях решение проблемы может заключаться в оптимизации геометрии заземляющего слоя для сокращения пути протекания возвратного тока. Все это можно проверить с помощью визуализации.

Визуализация электромагнитных полей позволяет определить положения развязывающих конденсаторов, улучшающих качество

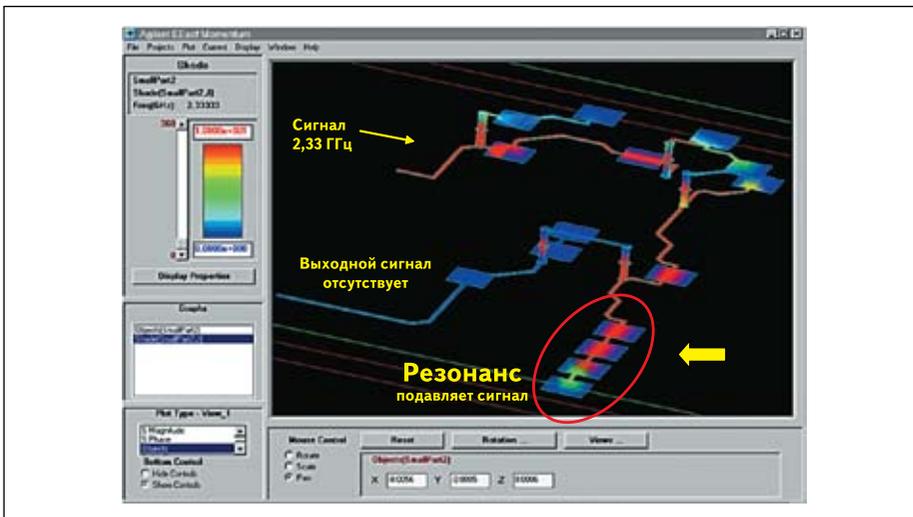


Рис. 3. Резонанс на частоте 2,33 ГГц, созданный регулярно расположенными площадками печатной платы, блокировал прохождение сигнала тактовой частоты по контрольной дорожке

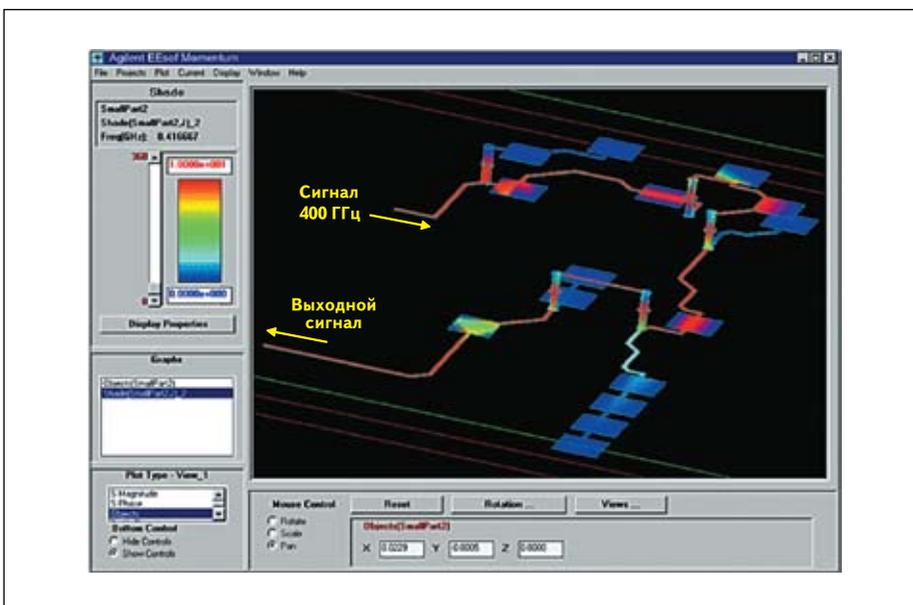


Рис. 4. На частоте 400 МГц тактовый сигнал беспрепятственно проходит по контрольной дорожке

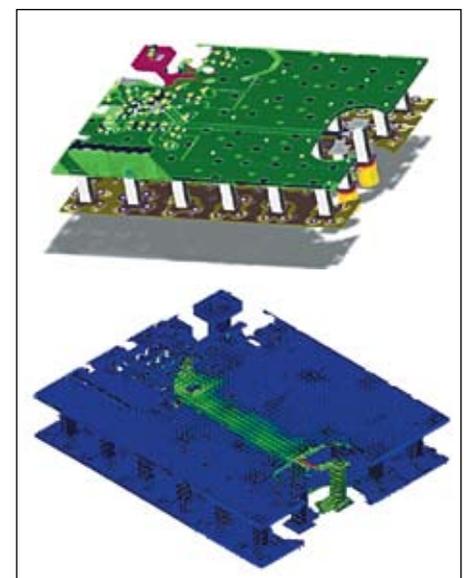


Рис. 5. Визуализация токов возврата через «землю» позволяет оценить качество заземления

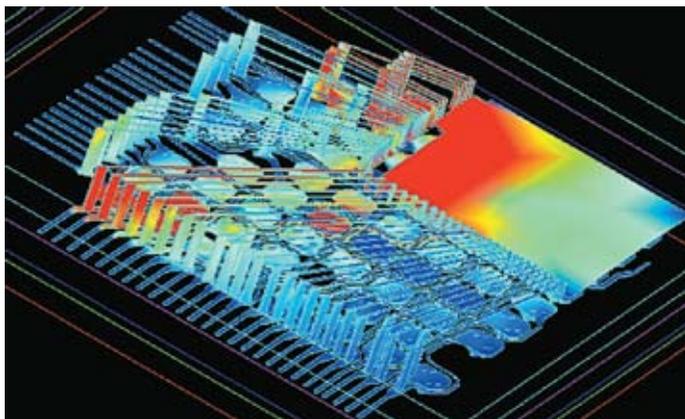


Рис. 6. Определение мест установки развязывающих конденсаторов вокруг ИМС путем визуализации отсутствия токов в цепях питания и «земли»

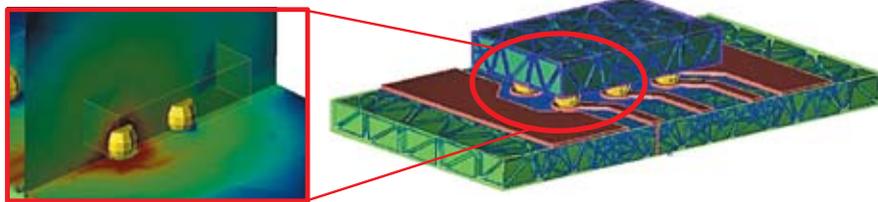


Рис. 7. Визуализация электромагнитного поля или поверхностных токов позволяет выявить проблемы надежности, вызванные горячими точками или высокой напряженностью поля, способной вызвать электрическую дугу

питания микросхем или гибридных модулей. На рис. 6 показаны пути протекания поверхностных токов на резонансных частотах, определенные с помощью AFS. Это позволило убедиться, что полный ток по-прежнему

течет по проводникам питания и «земли». Если это не так, то в местах, где ток уменьшается или исчезает на резонансной частоте, нужно установить развязывающие конденсаторы, которые локализируют буферное на-

копление заряда и стабилизируют питающее напряжение. Как правило, анализ выполняется в диапазоне от постоянного тока до тактовой частоты.

И наконец, как показано на рис. 7, визуализация тока и электромагнитного поля позволяет выявить потенциальные проблемы надежности, вызванные горячими точками, которые могут создать локальный перегрев и вызвать отслоение дорожки. Области с высокой напряженностью электромагнитного поля потенциально могут приводить к возникновению электрической дуги, способной разрушить чувствительные компоненты.

Заключение

Рассказано о применении электромагнитного моделирования и визуализации поверхностных токов для диагностики и устранения плавающих неисправностей в скоростных графических картах, возникающих на высоких тактовых частотах. Обсуждено также применение методов электромагнитного моделирования и визуализации для выявления обратных путей токов заземления, горячих точек и взаимовлияния проводников с целью определения оптимального расположения экранов, переходных отверстий или развязывающих конденсаторов. Эта методика полезна для проектирования и отладки печатных плат высокоскоростных устройств, поскольку помогает локализовать потенциальные причины отказов, которые сложно обнаружить даже на аппаратных прототипах путем осциллографических исследований. Предлагаемое решение каждой обнаруженной проблемы можно быстро проверить при повторном электромагнитном анализе. ■