

К. т. н. В. К. СИРОТКО

Россия, г. С.-Петербург, ООО “Эремекс”
E-mail: sirotko.vk@mail.ru

Дата поступления в редакцию
09.06 2010 г.

Оппонент А. Г. ЯЦУНЕНКО
(ИТМ, г. Днепропетровск)

ОЦЕНКА ЧАСТОТНОЙ ГРАНИЦЫ ДОПУСТИМОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБЛИЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЦЕПЕЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Путем сравнения амплитуд сигналов на приемных концах линий передач цепей ПП, рассчитанных при использовании приближенных моделей и при использовании более точных (электродинамических) моделей, определена искомая частотная граница.

В [1] была разработана программа анализа перекрестных помех в цепях печатных плат, которая затем была модифицирована. В этой модифицированной программе (AvSI_Sim) вместо перекрестных помех вычисляются амплитуды сигналов на приемных концах линий передач цепей печатных плат (ПП). В программе AvSI_Sim предусмотрено отключение встроенных приближенных моделей линий передачи ПП и подключение более точных, электродинамических, моделей. Определению верхней границы частотного диапазона, в котором допускается использовать приближенные модели, посвящена настоящая работа.

Для решения поставленной задачи необходимо провести расчет амплитуд сигналов по приближенным моделям и по точным и сравнить полученные результаты. С учетом погрешностей расчетов по приближенным моделям [2], будем считать допустимым использование их при отклонениях не более 7%. Чтобы исключить влияние на величину вычисляемых амплитуд сигналов моделей контактных площадок и переходных отверстий, в программе AvSI_Sim при формировании моделей цепей ПП они автоматически заменялись моделями отрезков линий передачи минимальной длины (равной шагу трассировки). С целью исключения влияния отражений, вызванных неоднородностью цепей, параметры сигнальных слоев принимались одинаковыми, и формировались модели только таких цепей ПП, которые не имеют разветвлений.

В программе AvSI_Sim, так же как и в программе [1], используется быстроедействующий и точный алгоритм редукции эквивалентных схем цепей, содержащих большое количество ячеек (до нескольких тысяч), что обеспечивает хорошую имитацию длинных линий передачи.

Элементы эквивалентных схем ячеек моделей линий передачи были описаны известными формулами [2]. Для оценки максимальной частоты, при которой эти формулы справедливы, элементы эквивалентных

схем ячеек моделей линий передачи описывались с помощью программы Simbeor [3], использующей электродинамические модели линий передачи. (Программа Simbeor использовалась с разрешения ее автора Ю. Шлепнева.)

Для каждой цепи ПП с помощью программы AvSI_Sim вычислялись амплитуды сигналов на приемном конце на 10 частотах, соответствующих 10 гармоникам импульсного сигнала. Амплитуды входных сигналов всех 10 гармоник принимались одинаковыми (5 В), что позволяет более точно оценить изменение амплитуды для каждой гармоники.

Исследованы две ПП (ADP1 и ADP2) одинаковых размеров (79×96 мм), которые отличаются только характеристиками слоев. Каждая печатная плата имела 4 слоя (Top, 0 В, +5 В, Bottom), 102 цепи, 270 контактных площадок, 114 переходных отверстий, диапазон длины цепей 10...150 мм. Характеристики слоев ПП приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Толщина слоев металлизации ПП ADP1 и ADP2

Печатная плата	Толщина слоя, мкм			
	Top	0В	+5В	Bottom
ADP1	27	20	20	27
ADP2	36	36	36	36

Таблица 2

Характеристики слоев изоляции ПП ADP1 и ADP2

Название характеристики	Значение для изоляции между слоями		
	Top и 0В	0В и +5В	+5В и Bottom
Толщина слоя, мм для ПП ADP1 для ПП ADP2	0,114 0,2	0,508 0,5	0,114 0,2
Относительная диэлектрическая проницаемость материала	4,2	4,1	4,2
Тангенс угла диэлектрических потерь материала	0,02	0,01	0,02

Отклонения амплитуд гармоник сигналов, полученных при использовании приближенных моделей линий передачи, от полученных на электродинамических моделях (в %)

Плата, нагрузка цепи, частота 1-й гармоники	Номер гармоники									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ADP1, 55 Ом										
10 МГц	0,0 −0,5	0,0 −0,6	0,0 −0,6	0,0 −0,5	0,0 −0,4	0,0 −0,4	0,0 −0,4	0,1 −0,3	0,4 −0,3	0,7 −0,2
100 МГц	0,7 −0,2	3,4 −0,1	3,4 −0,1	4,1 0,0	4,3 −0,4	4,4 0,0	4,5 0,0	4,6 0,0	4,6 0,0	4,7 0,0
1 ГГц	4,7 0,0	6,2 0,0	7,4 0,0	10,0 0,0	11,7 0,0	15,1 0,0	17,2 0,0	18,9 0,0	23,4 0,0	27,5 0,0
ADP1, 1 Мом										
10 МГц	0,0 −0,1	0,0 −0,3	0,0 −0,6	0,0 −1,0	0,0 −1,6	0,0 −2,3	0,0 −3,1	0,0 −4,1	0,0 −5,2	0,0 −6,6
100 МГц	0,0 −6,6	0,0 −26,2	26,3 −24,3	27,8 −23,5	30,0 −24,0	29,5 −44,0	70,9 −23,1	39,3 −22,5	28,9 −25,2	25,1 −48,9
ADP2, 55 Ом										
10 МГц	0,0 −0,3	0,0 −0,5	0,0 −0,5	0,0 −0,5	0,0 −0,5	0,0 −0,4	0,0 −0,3	0,0 −0,3	0,0 −0,2	0,2 −0,2
100 МГц	0,2 −0,2	1,7 −0,1	1,8 −0,1	2,2 0,0	2,4 0,0	2,5 0,0	2,5 0,0	2,6 0,0	2,6 0,0	2,8 0,0
1 ГГц	2,8 0,0	4,8 0,0	7,0 0,0	9,5 0,0	12,1 0,0	15,8 0,0	18,3 0,0	20,8 0,0	25,6 0,0	28,5 0,0
ADP2, 1 МОм										
10 МГц	0,0 −0,1	0,0 −0,3	0,0 −0,5	0,0 −1,0	0,0 −1,5	0,0 −2,2	0,0 −2,9	0,0 −3,8	0,0 −4,9	0,0 −6,2
100 МГц	0,0 −6,2	0,0 −26,2	29,5 −20,2	36,5 −23,9	37,2 −24,5	36,8 −47,5	88,0 −23,5	43,8 −28,3	35,9 −26,9	28,8 −3,5

Исследовались 3 импульсных сигнала с частотами первых гармоник 10 МГц, 100 МГц и 1 ГГц, что перекрывает диапазон частот от 10 МГц до 10 ГГц. Нагрузка на приемных концах линий передачи принималась равной 55 Ом (волновое сопротивление) либо 1 МОм (холостой ход).

Чтобы учесть влияние длины линии передачи на величину искомых отклонений, для всех гармоник всех цепей ПП были найдены максимальные отклонения как со знаком «+», так и со знаком «-», которые приведены в табл. 3. Здесь видно, что если считать допустимыми отклонения 7%, то верхняя частотная граница допустимого использования приближенных моделей линий передачи при анализе цепей ПП составляет 3 ГГц.

Результаты вычислений отклонений для импульсных сигналов, имеющих частоту первой гармоники

1 ГГц при нагрузке 1 МОм, в таблице не приведены, т. к. эти отклонения очень велики. Из таблицы также видно, что и при других частотах отклонения при нагрузке 1 МОм значительно превосходят отклонения при нагрузке 55 Ом. В связи с этим, можно сделать вывод о том, что оценка верхней частотной границы допустимого использования приближенных моделей линий передачи при анализе цепей ПП имеет смысл только при нагрузке линий передачи на волновое сопротивление (55 Ом).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Сиротко В. К. Программа анализа перекрестных помех в цепях печатных плат // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2008. — № 6. — С. 11—22.
2. Кечиев Л. Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. — М.: ООО «Группа ИДТ», 2007.
3. <http://www.simberian.com>.