

УДК 621.3.011.7

В.К. Салов, Т.Р. Газизов

Моделирование микрополосковой линии с полигонами

Выполнено моделирование микрополосковой линии с полигонами на разных слоях. Вычислены её волновое сопротивление и погонная задержка. Установлено, что наличие полигонов, может уменьшить волновое сопротивление линии на несколько процентов. Выявлено, что наличие полигона на верхнем слое уменьшает задержку, а на среднем и нижнем – увеличивает.

Ключевые слова: микрополосковая линия, волновое сопротивление, задержка, компьютерное моделирование, TALGAT.

Особенности диэлектрического заполнения могут оказывать значительное влияние на характеристики как кабельных [1], так и полосковых [2] линий передачи. При проектировании многослойных печатных плат с цифровыми и аналоговыми, в том числе радиочастотными, цепями необходимо обеспечить заданное волновое сопротивление полосковых линий передачи. Использование в качестве схемной земли ближайшего слоя часто требует очень узкую полосу, что увеличивает относительный разброс её ширины, а значит, и разброс волнового сопротивления. Поэтому на практике вытравливают фольгу под полоской на одном или нескольких слоях, тем самым используя в качестве схемной земли нижний слой. Согласно свойствам плоского конденсатора увеличение расстояния от полосы до земли позволяет увеличить ширину полосы.

Однако такое решение требует учёта ряда аспектов электромагнитной совместимости (ЭМС). Так, необходимо убедиться, что вытравы в слоях (земли и питания) не создают проблем ЭМС из-за изменения пути протекания обратных токов (сигналов и питаний), но это можно сделать только после трассировки платы. Другим аспектом является учет влияния сплошных проводящих областей (называемых при проектировании печатных плат полигонами) на характеристики линии передачи, его можно выполнить квазистатическим анализом до трассировки платы. Для этого часто используют формулы для расчета обычной микрополосковой линии передачи. Доступные калькуляторы линий передачи позволяют учитывать изменения поперечного сечения, но только довольно простых структур [3, 4]. Между тем, в системе TALGAT [5] возможен анализ структур с произвольным поперечным сечением.

Цель данной работы – выполнить моделирование микрополосковой линии с разным числом полигонов.

В системе TALGAT проведен расчёт волнового сопротивления (Z) и погонной задержки (τ) микрополосковой структуры. Для оценки влияния полигонов исследовано несколько вариантов: МПЛ – микрополосковая линия без полигонов, поперечное сечение которой представлено на рис. 1; МПЛ1 – микрополосковая линия с полигонами на одном (верхнем) слое (рис. 2); МПЛ2 – микрополосковая линия с полигонами на двух (верхнем и среднем) слоях (рис. 3); МПЛ3 – микрополосковая линия с полигонами на трёх (верхнем, среднем и нижнем) слоях (рис. 4). Геометрические параметры проводников и диэлектриков взяты из фрагмента реальной печатной платы: ширина проводника $w = 890$ мкм, толщина проводника и полигонов $t = 18$ мкм, толщина препрегов $h_1 = h_3 = 144$ мкм, толщина подложки $h_2 = 220$ мкм. Толщина паяльной маски принята равной $h_M = 30$ мкм, а относительная диэлектрическая проницаемость: препрегов $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r3} = 4,5$; подложки $\epsilon_{r2} = 4,4$; паяльной маски $\epsilon_{rM} = 3,5$. Ширина полигонов принята равной $5w$. Зазоры между краями полосы и полигонов приняты равными $s = 0,5; 1,0; 1,5$ мм, а полигонов – $(s + w + s)$. Длина сегментов дискретизации всех границ 7 мкм.

В системе TALGAT построены геометрические модели четырёх вариантов поперечного сечения микрополосковой линии. Методом моментов вычислены матрицы погонных емкостей и индуктивностей структуры (с учётом всех полигонов), из которых для дальнейших расчётов бралось значение для первого проводника (полоски). Далее вычислены значения Z и τ линии.

В таблице приведены значения Z и τ для разных вариантов структуры при различных расстояниях до полигона s . Для каждого значения приведён процент отклонения от значения для МПЛ.

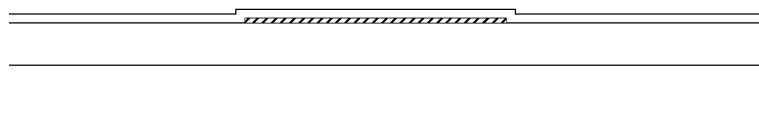


Рис. 1. Фрагмент поперечного сечения МПЛ

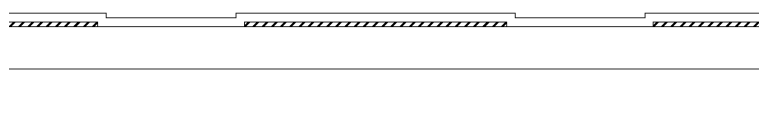


Рис. 2. Фрагмент поперечного сечения МПЛ1

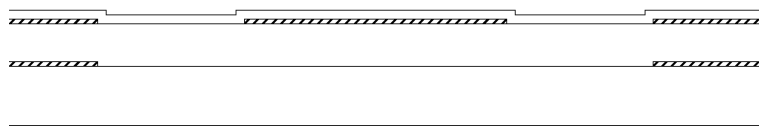


Рис. 3. Фрагмент поперечного сечения МПЛ2

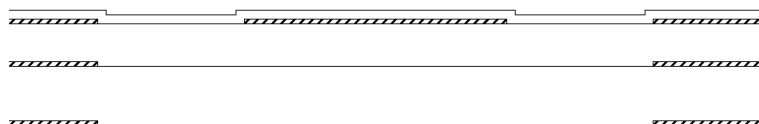


Рис. 4. Фрагмент поперечного сечения МПЛ3

Вычисленные значения Z и τ для вариантов структуры при разных s

	$s = 1,5 \text{ мм}$				$s = 1,0 \text{ мм}$				$s = 0,5 \text{ мм}$			
	$Z, \text{ Ом}$	$\Delta Z, \%$	$\tau, \text{ нс/м}$	$\Delta \tau, \%$	$Z, \text{ Ом}$	$\Delta Z, \%$	$\tau, \text{ нс/м}$	$\Delta \tau, \%$	$Z, \text{ Ом}$	$\Delta Z, \%$	$\tau, \text{ нс/м}$	$\Delta \tau, \%$
МПЛ	50,411	0	6,098	0	50,411	0	6,098	0	50,411	0	6,098	0
МПЛ1	50,167	-0,466	6,079	-0,312	49,731	-1,349	6,056	-0,689	47,614	-5,548	5,996	-1,673
МПЛ2	50,155	-0,508	6,079	-0,312	49,681	-1,448	6,057	-0,672	47,280	-6,211	6,005	-1,525
МПЛ3	50,152	-0,513	6,080	-0,295	49,668	-1,474	6,058	-0,656	47,190	-6,389	6,011	-1,427

Анализ результатов для Z показывает последовательное уменьшение его значения, достигающее минус 0,5% для $s = 1,5 \text{ мм}$, минус 1,5% для $s = 1,0 \text{ мм}$ и минус 6,4% для $s = 0,5 \text{ мм}$. Примечательно, что основной вклад в уменьшение Z вносит полигон верхнего слоя, тогда как влияние остальных гораздо меньше, причем уменьшается с удалением от полоски. Таким образом, выбор зазора критичен для Z . Лишь при больших зазорах влияние полигонов можно не учитывать и вычислять Z , как в обычной микрополосковой линии. Уменьшение зазоров все сильнее уменьшает Z и требует вычисления Z с учётом полигонов. Очевидно, что количеством полигонов и их зазорами можно контролировать Z при невозможности сделать это другими средствами. Такое поведение Z объясняется увеличением ёмкости микрополосковой линии при добавлении полигонов, которое ведет к уменьшению Z , согласно формуле $Z = 1/(v_0 \sqrt{C \cdot C_0})$, где v_0 – скорость света в вакууме, C и C_0 – погонные ёмкости: при заданных диэлектриках и в вакууме. Анализ результатов для τ показывает, что добавление полигона на верхний слой уменьшает τ (до 1,6% при $s = 0,5 \text{ мм}$), а на средний и нижний слои – наоборот, увеличивает, компенсируя (хотя и не полностью) уменьшение τ из-за верхнего полигона. Такое поведение τ объясняется перераспределением электрического поля – в варианте МПЛ1 поле распределено во внешней среде больше, чем в варианте МПЛ. В двух других вариантах (МПЛ2 и МПЛ3) оно больше распределяется в диэлектриках линии, чем во внешней среде, что и ведет к увеличению значения τ .

В заключение отметим, что данные результаты получены для конкретных значений параметров стека печатной платы. Поэтому для других значений и стеков выводы могут отличаться. Возможны качественные оценки, но они очень ограничены. Так, можно определённо утверждать, что при меньшей толщине проводников (5 мкм) влияние полигонов будет слабее, а при большей (35 мкм) – сильнее. Однако разработанная программа позволяет выполнить точные количественные оценки для любых параметров, заданных пользователем, а также может быть легко изменена для анализа других стеков.

Работа выполнена по договору от 16.11.2012 №96/12 ТУСУРа и ОАО «ИСС» им. акад. М.Ф. Решетнева» в рамках реализации Постановления Правительства РФ от 09.04.2010 г. №218, договор от 12.02.2013 г. №02.G25.31.0042.

Литература

1. Использование плоского силового кабеля как защитного устройства от сверхкоротких импульсов / И.Е. Самотин, А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов, Р.В. Киричек // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21), ч. 2. – С. 74–79.
2. Gazizov T.R. Far-end crosstalk reduction in double-layered dielectric interconnects // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. Special issue on recent advances in EMC of printed circuit boards. – 2001. – Vol. 43, № 4. – P. 566–572.
3. Speedstack PCB impedance field solver and PCB layer stackup tool package [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.polarinstruments.com/products/stackup/Speedstack_PCB.html, свободный (дата обращения: 27.09.2013).
4. Расчет волнового сопротивления трех вариантов полосковых линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zfdtd.narod.ru/utl/index.htm>, свободный (дата обращения: 27.09.2013).
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012660373. TALGAT 2011 / Т.Р. Газизов, А.О. Мелкозеров, Т.Т. Газизов и др. / Заявка №2012618426. Дата поступления 5 октября 2012 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16 ноября 2012 г.

Салов Василий Константинович

Аспирант, каф. телевидения и управления (ТУ) ТУСУРа
Тел.: 8 (382-2) 41-34-39
Эл. почта: catred@mail2000.ru

Газизов Тальгат Рашитович

Д-р техн. наук, профессор, каф. ТУ ТУСУРа
Тел.: 8 (382-2) 41-34-39
Эл. почта: talgat@tu.tusur.ru

Salov V.K., Gazizov T.R.

Simulation of a microstrip line with polygons

In the research we simulated a microstrip line with polygons on different layers. We calculated the characteristic impedance and the delay per unit length of the line. It is observed that the polygons reduce impedance characteristic up to several percent for considered structure. It is revealed that polygon on top layer reduces the delay, while the polygon on middle and bottom layers increases the delay.

Keywords: microstrip line, characteristic impedance, delay, simulation, TALGAT.