

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПЕРЕХОДНЫМ ОТВЕРСТИЕМ И ПРОВОДНИКОМ НА МАТРИЦУ ЁМКОСТЕЙ

К.Н. Абрамова, магистрант; А.А. Дроздова, аспирант каф. ТУ

Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, akn@tu.tusur.ru

Выполнена оценка влияния расстояния между сквозным переходным отверстием и проводником на печатной плате на матрицу ёмкостей. Создана трехмерная модель ПП с отверстием и печатным проводником на ней. Вычислены матрицы коэффициентов электростатической индукции, которые пересчитаны в матрицы ёмкостей. Показано, что увеличение расстояния приводит к уменьшению до 1,5 раза для собственных и до 2,2 раза для взаимных значений ёмкостей. Сравнение результатов вычислений методами моментов и конечных элементов показало их совпадение с разницей не более 10%.

Ключевые слова: взаимная ёмкость, ёмкостная матрица, сквозное переходное отверстие, печатный проводник.

Существенное влияние на работу радиоэлектронных средств (РЭС) оказывает некорректный анализ целостности сигнала, вследствие которого возрастают значения взаимных паразитных параметров компонентов и проводников печатной платы (ПП) [1]. Для повышения помехоустойчивости РЭС на стадии проектирования ПП следует учитывать паразитные ёмкостные и индуктивные связи, которые возникают между печатными проводниками.

При оценке допустимых паразитных параметров на входе какой-либо цепи не должны возникать наводки, уровень которых соизмерим с уровнем полезного сигнала [2]. При создании топологии ПП учёт возникающих между печатными проводниками паразитных ёмкостных и индуктивных связей позволяет в результате соблюдать требования внутрисистемной электромагнитной совместимости (ЭМС) и не допускать амплитуд помех, соизмеримых с уровнем полезного сигнала [2]. При трассировке многослойных ПП возникает необходимость в переходных отверстиях, соединяющих цепи компонентов между слоями ПП. Расположенное в непосредственной близости к печатному проводнику переходное отверстие может оказать существенное влияние на целостность сигнала за счёт повышения паразитных параметров компонентов, проявляющихся вследствие изменения собственных и взаимных ёмкостей топологических элементов ПП.

Цель работы – оценить влияние расстояния между переходным отверстием и проводником на матрицу ёмкостей.

Для оценки взаимной ёмкости между сквозным переходным отверстием и печатным проводником создана модель фрагмента ПП (рис. 1) размером $100 \times 100 \text{ мм}^2$. Верхний слой ПП содержит проводник (шириной $w = 0,5 \text{ мм}$, высотой $t = 105 \text{ мкм}$ и длиной $l = 70 \text{ мм}$), рядом с которым расположено сквозное переходное отверстие (диаметр отверстия $d = 0,5 \text{ мм}$, диаметр металлизации $d_1 = 1,1 \text{ мм}$). Для минимизации влияния бесконечной плоскости земли структура отдалена от плоскости земли на большое расстояние.

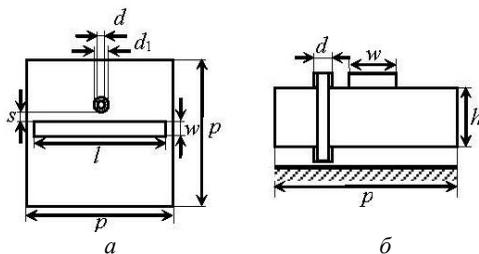


Рис. 1. Виды сверху (а) и поперечного сечения (б) созданной модели ПП

В ПО TALGAT [3] выполнено электростатическое моделирование с использованием вычислительного модуля трёхмерных структур (MOM3D), который основан на методе моментов (ММ). Вычислены матрицы коэффициентов электростатической индукции между проводником и сквозным переходным отверстием при изменении расстояния s между ними от 1 до 10 мм. Для подтверждения результатов расчёта ММ выполнено вычисление матриц коэффициентов электростатической индукции, используя метод конечных элементов (МКЭ).

Зависимости собственных ёмкостей переходного отверстия (C_{11}), проводника (C_{22}) и взаимной (C_{12}) ёмкости между ними при изменении расстояния s между проводником и переходным отверстием представлены на рис. 2. При этом значения C_{11} и C_{22} рассчитывались как сумма элементов матрицы электростатической индукции по строке, а C_{12} соответствовала значениям с противоположным знаком для внедиагональных элементов матрицы.

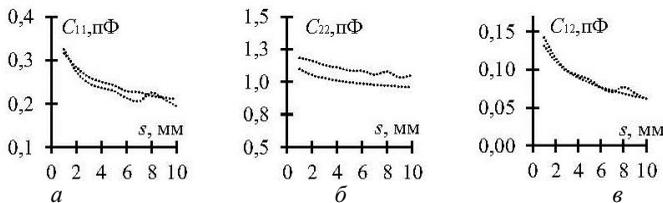


Рис. 2. Вычисленные ММ (—) и МКЭ (⋯) зависимости от s собственных ёмкостей для отверстия (а) и проводника (б) и взаимной (в) между ними

Из рис. 2 видно, что увеличение s от 1 до 10 мм приводит к уменьшению значений собственных и взаимных ёмкостей. При этом собственная ёмкость сквозного переходного отверстия уменьшается в 1,5 раза (от 0,32 до 0,21 пФ), собственная ёмкость проводника уменьшается в 1,2 раза (от 1,1 до 0,96 пФ), а взаимная ёмкость уменьшается в 2,2 раза (от 0,13 до 0,06 пФ). Вычисление с использованием МКЭ выявило разницу, значений вычисленных результатов по сравнению с ММ, не превышающую 10%.

Таким образом, выполнено моделирование фрагмента ПП, содержащей сквозное переходное отверстие и печатный проводник, которые расположенные в непосредственной близости друг от друга, с целью оценки паразитной емкости при изменении расстояния между ними. Выполнено сравнение полученных ёмкостных матриц двумя численными методами: ММ и МКЭ, максимальная разница составляет 10%. Полученные результаты показали, что при изменении расстояния от 1 до 10 мм взаимная ёмкость уменьшается в 2,2 раза, с 0,13 до 0,06 пФ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-79-10162-П, <https://rscf.ru/project/19-79-10162/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 256 с.
2. Журавлев В.Я. Паразитные параметры печатного монтажа / В.Я. Журавлев, О.И. Подгайко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 3, № 7 (45). – С. 49–52.
3. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2 (36). – С. 45–50.

УДК 621.391.823

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПРОВОДНИКАМИ, РАСПОЛОЖЕННЫМИ НА РАЗНЫХ СЛОЯХ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ, НА МАТРИЦУ ЁМКОСТЕЙ

К.Н. Абрамова, Т.И. Третьяков, студенты;

А.А. Дроздова, аспирант каф. ТУ

Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, akn@tu.tusur.ru

Выполнена оценка влияния расстояния между проводниками, расположенными на разных слоях печатной платы, на матрицу ёмкостей. Представлены модели с параллельно и перпендикулярно расположенными проводниками на разных слоях печатной платы. Вы-