

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель – Суровцев Р.С., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
зам. председателя – Белоусов А.О., доцент каф. ТУ, к.т.н.

УДК 621.372.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

К.Е. Никитина, К.И. Гончарова, студентки

Научные руководители: А.А. Квасников, доцент каф. ТУ, к.т.н.;
А.Е. Максимов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

*Проект ГПО ТУ-2502. Инструменты автоматизированного
проектирования элементов радиоэлектронных средств
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, nkristina315@gmail.com*

Описан результат совершенствования программного модуля для аналитического расчета электрических параметров линий передачи, который является аналогом AWR TXLine и ADS LineCalc. Для повышения эффективности модуля в него интегрированы новые математические модели для вычисления волнового сопротивления и эффективной диэлектрической проницаемости, выполнен рефакторинг программного кода и добавлен функционал для трехмерной визуализации поперечных сечений.

Ключевые слова: линия передачи, волновое сопротивление, эффективная диэлектрическая проницаемость, программный модуль, поперечное сечение.

Проектирование радиоэлектронных устройств неразрывно связано с необходимостью вычисления характеристик линий передачи (ЛП). В настоящее время для этого широко применяются зарубежные утилиты, например, AWR TXLine и ADS LineCalc. Большинство утилит являются зарубежными и распространяются на платной основе. Более того, их интерфейс часто не обеспечивает достаточной интуитивности и гибкости для пользователя. Поэтому есть необходимость разработки независимого отечественного инструмента. Ранее создан

программный модуль (ПМ), функционально сопоставимый с указанными аналогами.

Цель работы – представить результат совершенствования ПМ для вычисления электрических параметров ЛП. Для этого необходимо:

- расширить набор аналитических алгоритмов для вычисления волнового сопротивления и эффективной диэлектрической проницаемости для каждого типа ЛП;
- реализовать трехмерную визуализацию поперечных сечений ЛП с возможностью автоматической подстановки цветов в соответствии с текущей темой (темная или светлая);
- выполнить рефакторинг программного кода графического пользовательского интерфейса и внутренней логики модуля.

Произведен поиск аналитических моделей и определены наиболее близкие по результатам моделирования с AWR TXLine и ADS LineCalc. Для всех типов ЛП (связанные и одиночные микрополосковые и полосковые, щелевая, копланарная) представлены различные методы расчета на основе моделей разных авторов: Hammerstad и Jensen [1], Schneider [2], Wheeler [3], Fusco [4], Makarov и Noetscher [5], Cohn [6], Svacina [7] и др. Для работы с ними в интерфейсе ПМ предусмотрен выпадающий список, позволяющий выбор доступного варианта для расчёта параметров выбранной ЛП (рис. 1, *а*). При нажатии на кнопку «Информация», пользователь получает библиографическую ссылку на источник, из которого взяты модели, и информацию об ограничениях расчета ЛП (рис. 1, *б*).

Функционал ПМ позволяет изменять формат отображения поперечного сечения ЛП с двухмерного на трехмерный. На рис. 2 представлено несколько вариантов трехмерной визуализации ЛП.

Обновленный интерфейс ПМ упрощает восприятие информации благодаря группировке данных и возможности перевода терминологии на русский и английский языки. В полях ввода предусмотрены значения по умолчанию, необходимые для обеспечения корректного начального состояния системы и предотвращения ошибок ввода. Для удобства пользователя предусмотрена функция сохранения введенных данных при смене вкладки.

Оценена корректность новых аналитических моделей. Результаты расчёта параметров одиночной микрополосковой ЛП представлены в таблице (где Z – волновое сопротивление, $\epsilon_{r\text{ eff}}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость) при толщине диэлектрика 0,1 мм, ширине и толщине проводника 0,05 и 0,004 мм соответственно (диэлектрическая проницаемость 10,2 на частоте 1 ГГц).

Одиночная микрополосковая Связанная микрополосковая Одиночная полосковая Связанная полосковая Щелевая Копланарная X

l : 10.0000 мм w : 3.0600 мм Материал диэлектрика: FR-4
 h : 1.6000 мм t : 0.3500 мм ϵ_r 4.6000
 Частота: 1.0000 ГГц Материал проводника: Cu (copper) $\text{tg } \delta$ 0.01000

Hammerstad и Jensen
 Hammerstad и Jensen
 Hammerstad и Jensen (с уч. частоты)
 Wheeler
 Schneider
 Schneider (с уч. частоты)
 TXLine

Рассчитать

Ом

дБ/м

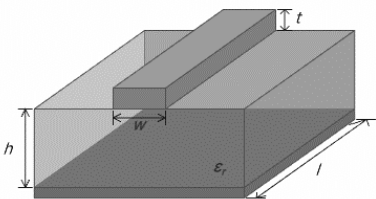
рад/м

рад

длина:

C : 0.0000 пФ

L : 0.0000 мкГн



Информация К численному расчету

a

Одиночная полосковая Связанная полосковая Щелевая

w : 0.7500 мм

Справочная информация

- Makarov S.N. Low-frequency electromagnetic modeling for electrical and biological systems using MATLAB / S.N. Makarov, G.M. Noetscher, A. Nazarian // New York : Wiley. – 2015. – 1st ed. – 624 p.

- высота подложки (h) должна быть больше высоты проводника (t)

- отношение w/h должно превышать 0.35

- отношение t/h не должно превышать 0.1

ОК

дБ/м

пФ

мкГн

Информация

б

Рис. 1. Обновленный графический пользовательский интерфейс ПМ:
 выпадающий список аналитических моделей (*a*),
 всплывающее окно со справочной информацией (*б*)

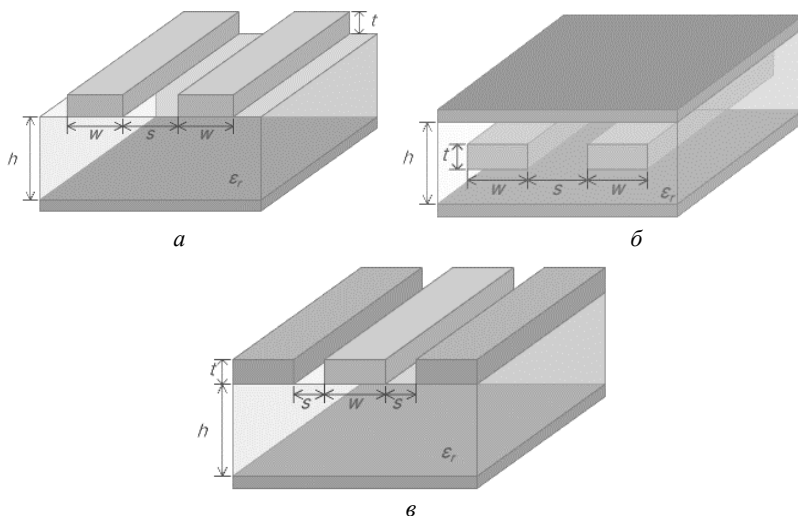


Рис. 2. Трехмерная визуализация поперечных сечений ЛПП: связанная микрополосковая (а), связанная полосковая (б), копланарная (в)

Рассчитанные значения параметров в ПМ, AWR TXLine и ADS LineCalc для одиночной микрополосковой ЛПП

Параметр	AWR TXLine	ADS LineCalc	ПМ [1]	ПМ [2]	ПМ [3]
Z , Ом	64,494	63,47	65,352	64,872	70,445
$\epsilon_{r \text{ eff}}$	6,476	6,27	6,515	6,604	7,461

Из оценок в таблице видно, что результаты расчёта параметров ЛПП приемлемо согласуются. Отклонение для Z не превышает 10%, а для $\epsilon_{r \text{ eff}}$ – 15%. Таким образом, ПМ усовершенствован за счет внедрения новых моделей и функционала трехмерного отображения геометрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hammerstad E. Accurate models for microstrip computer-aided design / E. Hammerstad, O. Jensen // Symposium on microwave theory and techniques. – 1980. – P. 407–409.
2. Schneider M.V. Microstrip dispersion / M.V. Schneider // Proceedings of the IEEE, Letters. – 1972. – Vol. 60. – P 144–146.
3. Wheeler H.A. Transmission-line properties of parallel strips separated by a dielectric sheet // IEEE transaction on microwave theory and techniques. – 1965. – Vol. 13, No. 2. – P. 172–185.
4. Fusco V.F. Microwave circuits: analysis and computer-aided design // Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1987.
5. Makarov S.N. Low-frequency electromagnetic modeling for electrical and biological systems using MatLab / S.N. Makarov, G.M. Noetscher, A. Nazarian // New York: Wiley. – 2015. – 1st ed. – 624 p.

6. Cohn S.B. Shielded coupled strip transmission line // IRE Trans. – 1955. – Vol. MTT-5. – P. 29–37.

7. Svachina J. Dispersion characteristics of multilayered slotlines a simple approach // IEEE trans microwave theory techniques. – 1999. – Vol. 47, No. 9. – P. 1826–1829.

УДК 004.94:621.382

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ НА СИНФАЗНУЮ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

А.В. Гудков, аспирант; М.А. Ромашенко, проф., д.т.н.

г. Воронеж, ВГТУ, каф. КИПР, kivr@vorstu.ru

Рассмотрен способ схемотехнического разделения кондуктивных помех AC/DC преобразователей на синфазную и дифференциальную составляющую на основе алгоритма моделирования кондуктивных помех в среде LTspice путем задания алгебраических выражений без использования инструментальных средств. Представлен результат компьютерного моделирования разделения синфазных и дифференциальных помех на примере обратноходового AC/DC-преобразователя.

Ключевые слова: кондуктивные помехи, синфазная и дифференциальная помехи, ЭМС, импульсный источник питания, AC/DC-преобразователь.

В ходе проектирования импульсных источников питания (ИИП) разработчику требуется время на отладку изделия для обеспечения его соответствия стандартам электромагнитной совместимости (ЭМС). При решении данной задачи методы, используемые для подавления дифференциальных помех, могут оказаться не эффективными для синфазных помех. Понимание вида помехи, преобладающего в полученном спектре, позволяет разработчику выбрать наиболее эффективное решение и сократить время проектирования изделия. При разработке ИИП многие разработчики выполняют построение схемотехнической модели силового контура, опираясь на которую, можно выполнить моделирование эмиссии кондуктивных помех ИИП на ранних этапах проектирования как в целях оценки соответствия стандартам ЭМС, так и в целях разделения помех на синфазную и дифференциальную составляющие. В работе представлен способ разделения помех за счёт схемотехнического моделирования в LTspice на примере обратноходового AC/DC-преобразователя.