

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuxsenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – P. 1–7.

2. Отчет по НИР FEWM-2020-0041. Комплекс фундаментальных исследований по электромагнитной совместимости. № АААА-А20-120061890045-0. – Томск, 2020. – 317 с.

3. Matplotlib – Visualization with Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matplotlib.org/>, свободный (дата обращения: 09.12.2021).

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660469 РФ. FEM2D 2021 / Д.В. Клюкин, А.А. Квасников, С.П. Куксенко, А.А. Иванов, М.Е. Комнатнов. – Заявка № 2021619672. – Дата поступления: 23.06.21. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.06.21.

УДК 004.418

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КАЛЬКУЛЯТОРА ДЛЯ РАСЧЕТА ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТИПОВЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

А.Д. Бучинский, студент; А.А. Квасников, аспирант каф. ТУ;

И.А. Онищенко, студент каф. КСУП

Научный руководитель С.П. Куксенко, проф. каф. ТУ, д.т.н.

Проект ГПО ТУ-1502. Вычислительная ЭМС

г. Томск, ТУСУР, iasm752@gmail.com

Разработан программный калькулятор для расчета погонных параметров линий передачи. Проведена верификация калькулятора и сравнение результатов с программными калькуляторами T_x-LINE и AppCAD.

Ключевые слова: программный калькулятор, линия передачи, погонные параметры.

Одним из основных компонентов радиоэлектронных средств (РЭС) являются линии передачи (ЛП). Качественное проектирование РЭС невозможно без учёта погонных параметров ЛП. В связи с этим возникает необходимость в разработке программных средств, позволяющих рассчитать погонные параметры типовых ЛП. В настоящее время существуют два наиболее известных программных калькулятора, реализующих вычисление погонных параметров ЛП, – T_x-LINE [1] и AppCAD [2]. Однако в T_x-LINE отсутствуют двухпроводные ЛП, а в AppCAD – копланарные микрополосковые ЛП (МПЛ). Существенными недостатками обоих калькуляторов являются отсутствие возможности расчёта погонных индуктивности и ёмкости и отсутствие многовариантного анализа.

Цель данной работы – разработка программного калькулятора для расчета погонных параметров типовых ЛПП.

Программный калькулятор реализован на языке программирования C++ с применением программной платформы Qt и технологии QtWidgets [3]. В качестве интегрированной среды разработки использована система Qt Creator, которая включает в себя средства проектирования графического интерфейса пользователя. Дизайн элементов калькулятора разработан с применением графического векторного редактора Adobe Illustrator. Реализованы кнопки с изображениями поперечных сечений ЛПП, схематичные 3D-изображения с обозначениями параметров ЛПП, необходимых для расчёта погонных параметров. Рабочее окно калькулятора приведено на рис. 1.

Программный калькулятор включает в себя 7 типовых ЛПП: МПЛ, копланарную, коаксиальную, копланарную МПЛ, симметричную полосковую, параллельную и двухпроводную. Расчетные выражения погонных параметров ЛПП представлены в работах [4] и [5].

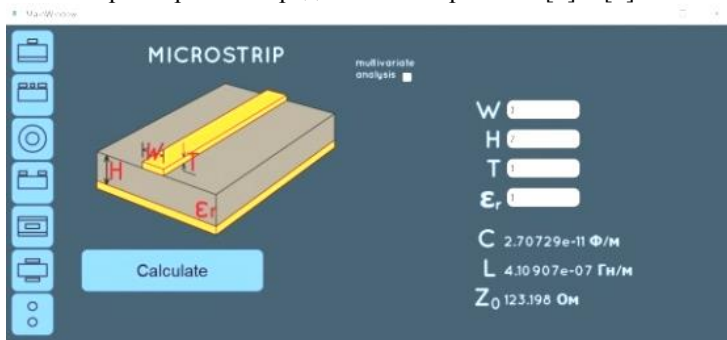


Рис. 1. Рабочее окно разработанного программного калькулятора

Реализованы защитные механизмы, благодаря чему при вводе некорректных данных (например, отрицательные значения параметров структуры) появляется окно, в котором сообщается, какой именно параметр был введен неверно.

При реализации многовариантного анализа использован метод расчета циклом, при котором вычисления производятся с использованием крайних значений и шага изменения выбранного параметра (рис. 2). Также реализован защитный механизм для многовариантного анализа, который останавливает вычисление в случае обнаружения некорректных параметров ЛПП. Погонные параметры, полученные при многовариантном анализе, формируются в виде списков с указанием значения геометрического параметра ЛПП, при котором произведён расчёт (рис. 3).



Рис. 2. Поля для ввода минимального и максимального значений ширины (W) ЛПП и шага её изменения при многовариантном анализе

Z_0	C	L
w = 1; 123.198 Ом	w = 1; 2.70729e-11 Ф/м	w = 1; 4.10907e-07 Гн/м
w = 2; 98.5693 Ом	w = 2; 3.38374e-11 Ф/м	w = 2; 3.28761e-07 Гн/м
w = 3; 83.7679 Ом	w = 3; 3.98164e-11 Ф/м	w = 3; 2.79394e-07 Гн/м
w = 4; 77.6459 Ом	w = 4; 4.29557e-11 Ф/м	w = 4; 2.58975e-07 Гн/м
w = 5; 69.3722 Ом	w = 5; 4.80788e-11 Ф/м	w = 5; 2.3138e-07 Гн/м
w = 6; 62.7792 Ом	w = 6; 5.3128e-11 Ф/м	w = 6; 2.0939e-07 Гн/м
w = 7; 57.3896 Ом	w = 7; 5.81174e-11 Ф/м	w = 7; 1.91413e-07 Гн/м
w = 8; 52.8935 Ом	w = 8; 6.30576e-11 Ф/м	w = 8; 1.76417e-07 Гн/м
w = 9; 49.0805 Ом	w = 9; 6.79564e-11 Ф/м	w = 9; 1.637e-07 Гн/м
w = 10; 45.8025 Ом	w = 10; 7.28199e-11 Ф/м	w = 10; 1.52767e-07 Гн/м

Рис. 3. Пример вывода результатов многовариантного анализа МПЛ при изменении ширины проводника

Для верификации программного калькулятора проведены расчёты волнового сопротивления пяти ЛПП. Результаты работы разработанного программного калькулятора, а также калькуляторов T_x-LINE и AppCAD сведены в таблицу.

Результаты расчёта волнового сопротивления (Ом) ЛПП

Тип ЛПП	AppCAD	T _x -LINE	Программный калькулятор
МПЛП ($W = 1$ мм, $H = 3$ мм, $T = 0,4$ мм, $\epsilon_r = 1$)	165,39	165,35	164,22
Коаксиальная ЛПП ($R_1 = 1$ мм, $R_2 = 4$ мм, $\epsilon_r = 3$)	48	47,98	48
Симметричная МПЛП ($W = 1$ мм, $H = 0,7$ мм, $T = 0,1$ мм, $\epsilon_r = 11,9$)	11,9	11,84	11,9
Двухпроводная ЛПП ($D = 3$ мм, $H = 15$ мм, $\epsilon_r = 4,7$)	121,5	–	127,41
Копланарная МПЛП ($W = 2$ мм, $S = 2$ мм, $\epsilon_r = 9,8$)	–	147,21	149,05

Таким образом, выполнена разработка программного калькулятора для вычисления погонных параметров семи ЛПП. Разработанный калькулятор превосходит аналоги благодаря большему числу типовых ЛПП, возможности расчёта погонных индуктивности и емкости, а так-

же многовариантному анализу. Выполнена верификация программного калькулятора, показывающая корректность его работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

ЛИТЕРАТУРА

1. AWR Tx-LINE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cadence.com/en_US/home/tools/system-analysis/rf-microwave-design/awr-tx-line.html, свободный (дата обращения: 13.11.2021).
2. AppCAD Design Assistant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.broadcom.com/appcad>, свободный (дата обращения: 14.11.2021).
3. Qt | Cross-platform software development [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.qt.io/>, свободный (дата обращения: 15.11.2021).
4. Joines W.T. Microwave transmission line circuits. – Artech House, 2013. – 320 p.
5. Фуско В. СВЧ-цепи. Анализ и автоматизированное проектирование / пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

УДК 621.391.31

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ОТКЛИКА В СИСТЕМЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ TALGAT НА ОСНОВЕ S-ПАРАМЕТРОВ

*Н.С. Павлов, студент; Е.С. Жечев, ассистент
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, pavlov.n@tu.tusur.ru*

Предлагается алгоритм вычисления временного отклика в системе TALGAT. На основе рассчитанных или экспериментально полученных S -параметров и дальнейшего их преобразования производится вычисление временных характеристик устройства.

Ключевые слова: S -параметры, временные характеристики, обратное преобразование Фурье, Y -параметры.

На сегодняшний день радиоэлектронная аппаратура (РЭА) занимает важное место в различных сферах деятельности и обычной повседневной жизни человека. РЭА может быть разной степени сложности, начиная от бытовой и заканчивая космической. Большое количество различной РЭА может неблагоприятно влиять друг на друга, создавая нежелательные помехи, что может сказаться на корректной работе РЭА. Именно поэтому вопрос обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) сегодня актуален. Одной из программ для моделирования задач ЭМС является система TALGAT [1].

Большинство исследований ЭМС проводилось в частотной области, тогда как временной уделено меньше внимания [2]. Между тем