

УДК 621.391.825

И.Е. Сагиева, Д.В. Клюкин

Многовариантный анализ экранированной микрополосковой линии методами моментов и конечных элементов

Выполнен многовариантный анализ погонной задержки и волнового сопротивления экранированной микрополосковой линии методами моментов и конечных элементов. Сравнительный анализ показал, что результаты являются очень близкими. Максимальные различия составили 2%.

Ключевые слова: печатная плата, микрополосковая линия, метод моментов, метод конечных элементов.

В настоящее время моделирование различных полосковых линий (ПЛ) с целью контроля значений характеристик является важной задачей при проектировании печатных плат (ПП) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Моделирование обладает преимуществами над испытанием за счет ускорения и дешевизны. Поэтому в современных условиях почти на всех этапах проектирования ПП используются различные специализированные системы автоматизированного проектирования (САПР) электронных устройств, реализованные на основе ряда численных методов, таких как метод моментов (МоМ), метод конечных элементов (FEM) и др. Одной из таких систем является система TALGAT [1], позволяющая выполнить моделирование на основе МоМ. Так, с её помощью выполнен ряд исследований, посвященных возможности получения нулевой чувствительности погонной задержки (τ) и волнового сопротивления (Z) различных микрополосковых линий (МПЛ) [2, 3]. Однако для проверки достоверности полученных результатов полезен сравнительный анализ результатов моделирования разными методами.

Цель данной работы – выполнить сравнительный анализ результатов моделирования характеристик экранированной микрополосковой линии (ЭМПЛ), используя МоМ и FEM.

Вначале рассмотрим кратко МоМ и FEM. Сделаем это по материалам работы [4].

МоМ используется для расчёта токов в металлических и диэлектрических структурах при излучении в свободном пространстве.

FEM широко применяется при механическом анализе конструкций. Идея FEM заключается в раз-

биении сложной структуры на большое количество областей (элементов), каждая из которых имеет простую геометрическую форму, например треугольника. В этих элементах искомое решение аппроксимируется простыми полиномиальными функциями, коэффициенты которых определяются с помощью узловых значений для каждого элемента.

Для моделирования использованы программы FasterCap [5], FEMM [6] и FEM2D [7]. Моделировались характеристики τ и Z ЭМПЛ (рис. 1), полученные ранее в системе TALGAT [8]. Для ясности кратко рассмотрим их, используя МоМ и FEM.

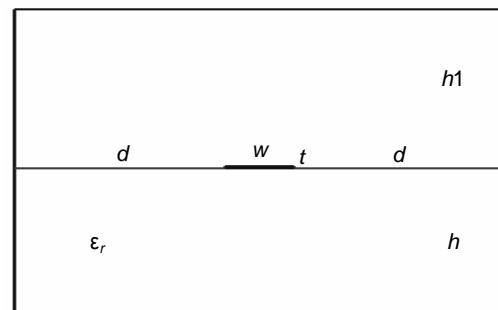


Рис. 1. Поперечное сечение ЭМПЛ

Значения параметров поперечного сечения линий: толщина полоски $t = 18$ мкм, толщина подложки $h = 1$ мм, относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 4,5$ (стеклотекстолит).

На рис. 2–5 представлены аналогичные результаты для τ и Z , вычисленные в программах TALGAT, FasterCap, FEMM, FEM2D.

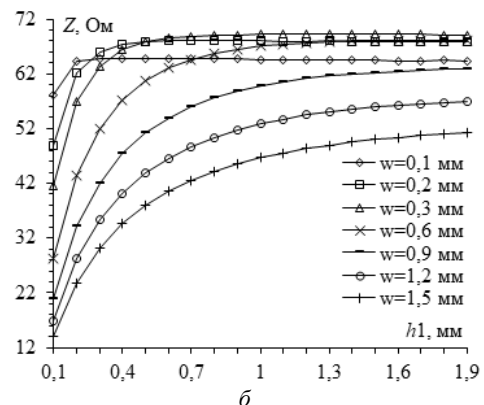
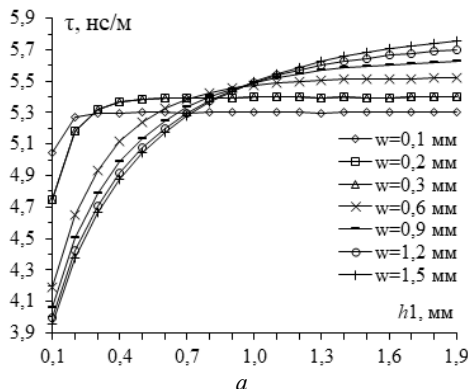


Рис. 2. Зависимости τ (а) и Z (б) от $h1$ в TALGAT

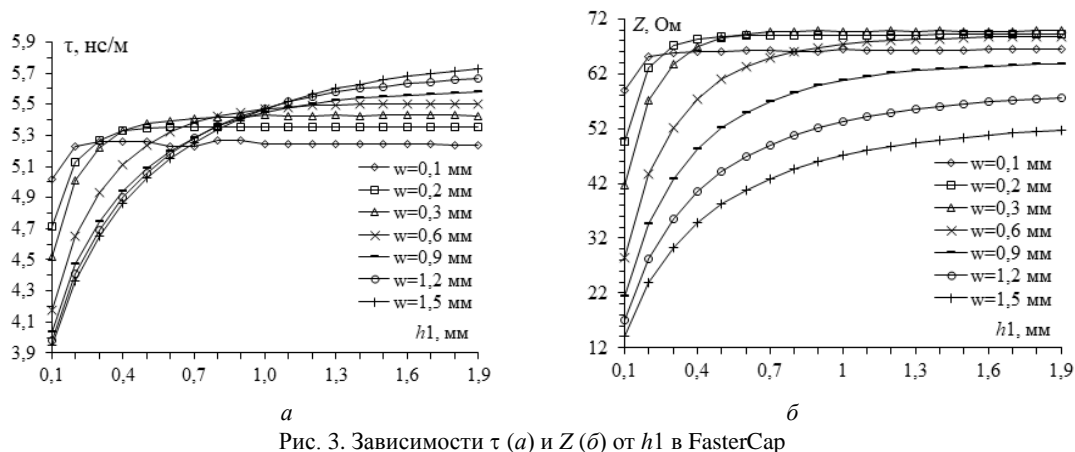


Рис. 3. Зависимости τ (а) и Z (б) от $h1$ в FasterCap

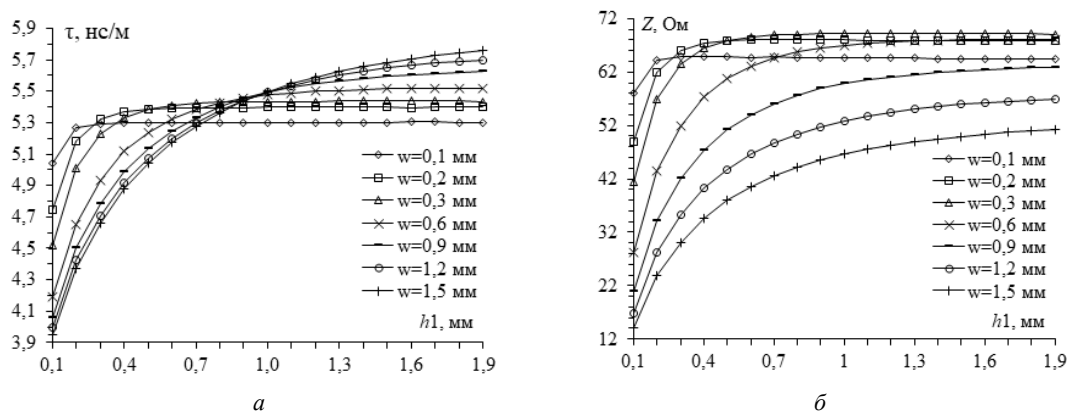


Рис. 4. Зависимости τ (а) и Z (б) от $h1$ в FEMM

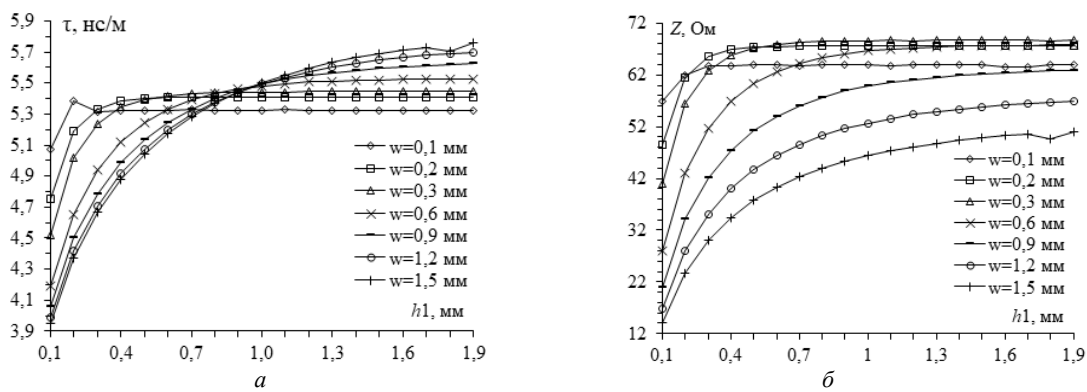


Рис. 5. Зависимости τ (а) и Z (б) от $h1$ в FEM2D

Из рис. 3–5 видно, что все зависимости τ и Z ведут себя аналогичным образом, как на рис. 2 из работы [2]. Однако при $w = 0,1$ мм наблюдаются небольшие различия результатов при вычислениях FasterCap и FEMM, а при $w = 0,1$ мм и $h1 = 0,2$ мм в FEM2D изменения более выражены. Поэтому на рис. 6 представлена сравнительная оценка для всех программ при $w = 0,1$ мм. Так, например, при $h1 = 0,2$ мм отклонение значения τ от TALGAT составляет: FasterCap – 0,34%, FEMM – 1,09%, FEM2D – 3,30%. Касательно зависимостей Z при $h1 = 0,2$ мм отклонение от TALGAT составляет: FasterCap – 0,57%, FEMM – 2,20%, FEM2D – 5,85%. В диапазоне $h1 = 1–1,9$ мм для τ и Z наблюдается практиче-

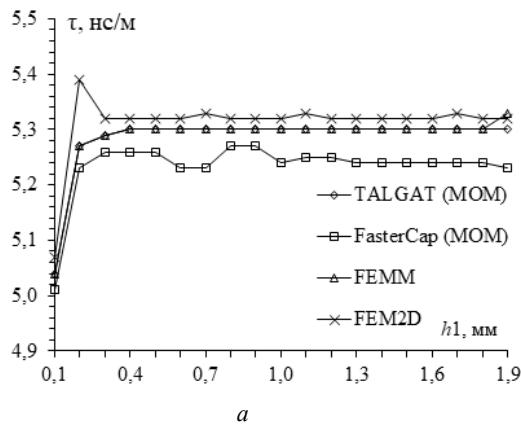
ское совпадение значений τ в программах TALGAT и FasterCap, что объяснимо одним методом МоМ.

На рис. 7 представлена сравнительная оценка погонных значений индуктивности (L) и ёмкости (C) для всех программ при $w = 0,3$ мм. Как видно, зависимости L и C ведут себя обратно и имеют широкий участок со слабым изменением значения. Отклонения значений других программ от TALGAT составляют менее 1%.

Таким образом, в работе выполнено моделирование ЭМПЛ в диапазоне параметров посредством и методов МоМ и FEM.

Выполнен сравнительный анализ результатов в разных программах. Результаты являются практиче-

ски совпадающими. Результаты работы показывают возможность использования системы TALGAT для подобных исследований, например для проектирования линий передачи со стабильными характеристиками.



Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

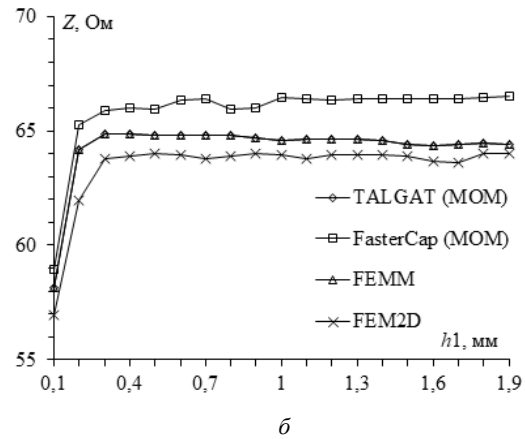


Рис. 6. Зависимости τ (а) и Z (б) от $h1$

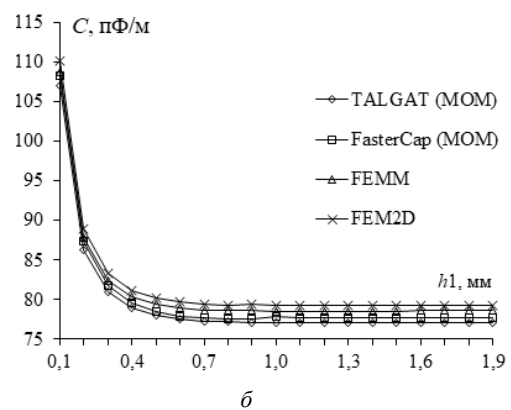
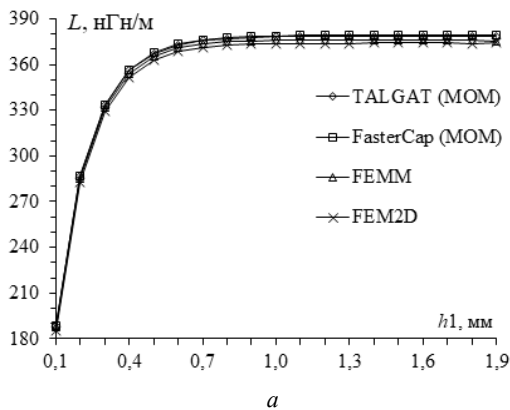


Рис. 7. Зависимости L (а) и C (б) от $h1$

Литература

1. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 2(36). – С. 45–50.
2. Sagiyeva I.Ye. Decrease of microstrip line characteristics sensitivity at the expense of a shielding / I.Ye. Sagiyeva, T.R. Gazizov // Actual problems of radiophysics. Proceedings of the VII International Conference «APR–2017». – Tomsk, Russia, September 18–22, 2018. – P. 67–70.
3. Sagiyeva I.Ye. Side grounded conductors dipped in a substrate of a microstrip line, as a tool of line characteristics control / I.Ye. Sagiyeva, T.R. Gazizov // Siberian journal of science and technology. – 2018. – Vol. 19, No. 2. – P. 303–307.
4. Куксенко С.П. Электромагнитная совместимость: моделирование. – Томск: В-Спектр, 2018. – 188 с.
5. FasterCap. – URL: <https://www.fastfieldsolvers.com/FasterCap.htm> (дата обращения: 20.09.2020).
6. FEMM. – URL: <http://www.femm.info/wiki/HomePage> (дата обращения: 20.09.2020).
7. Клюкин Д.В. Расчет погонных параметров линий передачи методом конечных элементов / Д.В. Клюкин,

А.А. Квасников // Сб. избранных статей междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2020». – Томск, Россия, 13–30 мая, 2020. – Ч. 1. – С. 251–254.

8. Сагиева И. Исследование характеристик экранированной микрополосковой линии // Изв. вузов. Физика. – 2017. – Т. 60, № 12/2. – С. 103–107.

Сагиева Индира Ериковна

Аспирант каф. ТУ ТУСУРа,
научно-технологический университет «Сириус»
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, 634050
ORCID: 0000-0001-7119-0583
Тел.: +7-913-801-19-89
Эл. почта: indira_sagiyeva@mail.ru

Клюкин Дмитрий Владимирович

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, 634050
Тел.: +7-999-499-76-45
Эл. почта: yuhoo11@mail.ru