

УДК 621.371.32

Р.Р. Хажобеков, А.М. Заболоцкий

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
г. Томск

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЙ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ

В настоящее время для анализа полосковых структур используется квазистатическое моделирование. Для точного моделирования таких структур необходимо учитывать потери в проводниках и диэлектриках. Существуют различные подходы для нахождения значений погонного сопротивления R и погонной проводимости G , одни из которых описаны в работах [1, 2]. Эти подходы были программно реализованы и встроены в систему TALGAT [3, 4]. Однако использование данной программной реализации для квазистатического моделирования реальных полосковых структур и сравнение полученных результатов с результатами электродинамического моделирования ранее не было показано. Для выполнения моделирования будут использоваться структуры модальных фильтров (МФ) [4].

Цель данной работы – выполнить сравнение результатов квазистатического и электродинамического моделирования МФ с учетом потерь.

Квазистатическое моделирование выполняется в системе TALGAT, а электродинамическое моделирование в CST MWS [5]. Поперечное сечение и схема включения МФ представлены на рисунке 1 [4], где ширина и толщина проводников $w=500$ мкм и $t=85$ мкм, расстояние между проводниками $s=200$ мкм, расстояние от края проводника до края диэлектрика $d=1000$ мкм, толщина подложки $h=400$ мкм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r=3$. МФ содержит три медных проводника: А – активный, О – опорный и П – пассивный. К активному проводнику подключен импульсный генератор э.д.с. с параметрами: амплитуда 10 В и длительность вершины $t_d=100$ пс, длительность фронта и спада $tr=tf=100$ пс. Значения сопротивлений равны $R1=R2=R3=R4=100$ Ом. Результаты моделирования с учетом потерь и дисперсии представлены на рисунке 2.

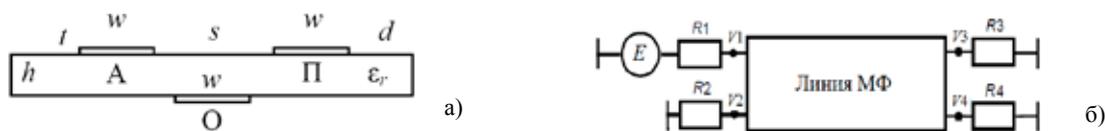
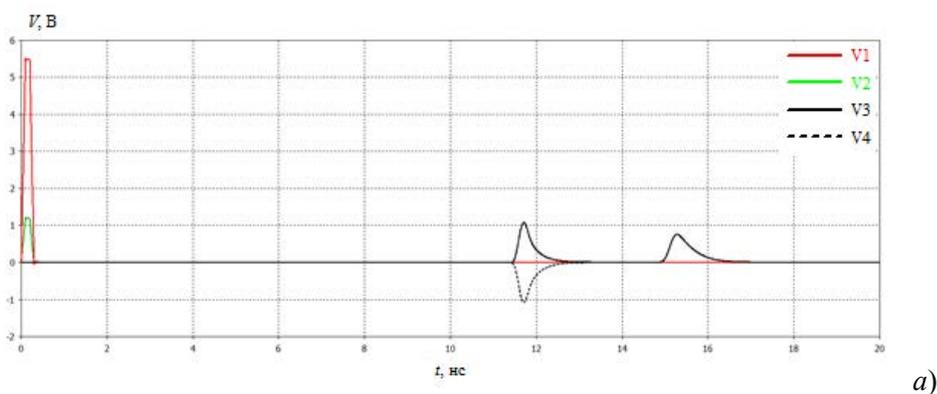


Рисунок 1 – Поперечное сечение (а) и схема включения (б) МФ



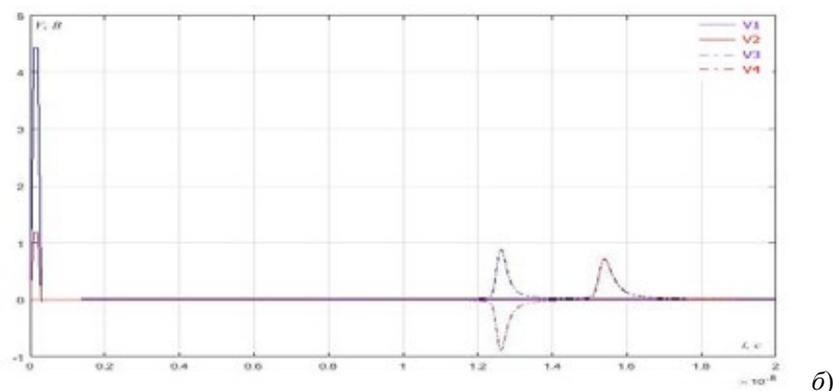


Рисунок 2 – Формы напряжения, полученные в CST MWS (а) и TALGAT (б)

Из полученных результатов видно, формы напряжений, вычисленные в TALGAT и CST MWS, совпадают. Значения амплитуд и задержек импульсов приведены в таблице 1. При сравнении результатов видно, что максимальное отклонение по задержкам импульсов составляет 2,5 %, по амплитудам 11 %. Следовательно, программно реализованные подходы можно использовать для моделирования МФ.

Таблица 1 – Результаты сравнения амплитуд и задержек импульсов

Параметр	CST	TALGAT	$(CST-TALGAT)/(CST+TALGAT), \%$
Амплитуда 1-го импульса V3, В	1,1	0,88	11
Амплитуда 2-го импульса V3, В	0,73	0,71	1,4
Амплитуда 1-го импульса V4, В	-1,1	-0,88	11
Амплитуда 2-го импульса V4, В	0,73	0,71	1,4
Время задержки 1-го импульса в узлах V3 и V4, нс	11,6	12,2	2,5
Время задержки 2-го импульса в узлах V3 и V4, нс	14,9	15	0,3

Работа выполнена за счет проекта 8.9562.2017/8.9 Минобрнауки Российской Федерации.

Библиографический список

1. Matthaei, G.L. Approximate calculation of the high-frequency resistance matrix for multiple coupled lines / G.L. Matthaei, G.C. Chinn // Microwave Symposium Digest 1992, pp. 1353–1354.
2. Djordjevic, A.R. Wideband Frequency-Domain Characterization of FR-4 and Time-Domain Causality / A.R. Djordjevic // IEEE Trans. On Electromagn. Compat. – 2001. – Vol. 43, № 4. – P. 662–667.
3. Мусабаев, Р.Р. Программная реализация алгоритма вычисления матрицы погонных сопротивлений многопроводной линии передачи в системе TALGAT / Р.Р. Мусабаев, Е.В. Лежнин, С.П. Куксенко // XX Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием “Современные проблемы радиоэлектроники”, г. Красноярск, 4-5 мая 2017 г. Принято к публикации.
4. 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.

5. Заболоцкий, А.М. Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: Изд-во Томск. Гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 151 с.

6. CST – Computer Simulation Technology – (<https://www.cst.com/>)УДК 621.311.69

УДК 621.311.69

Н.В. Штабель¹, П.В. Киселев², Е.А. Мизрах¹

¹Сибирский государственный университет науки и технологий

имени академика М.Ф. Решетнева),

г. Красноярск

²АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»

г. Железногорск, Красноярский край

УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В ПРОЦЕССЕ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Для предотвращения повреждения бортовой аппаратуры космического аппарата (КА) вследствие воздействия электростатики между шиной «минус общий» системы электропитания (СЭП) и корпусом КА предусматривается электрическая связь. Данная связь реализуется в одной точке – в энергопреобразующей аппаратуре (ЭПА) СЭП.

При проведении автономных испытаний (АИ) ЭПА и лабораторно-отработочных испытаний (ЛОИ) СЭП КА используется силовая контрольно-проверочная аппаратура (КПА). Она включает в себя имитаторы солнечной батареи, имитаторы аккумуляторных батарей, нагрузочные устройства. В этом случае шина «минус общий» ЭПА соединяется с контуром заземления здания.

В ходе испытаний возможно нарушение целостности изоляции шины «+» (замыкание на корпус) как в объекте контроля, так и в КПА. В указанном случае будет протекать ток короткого замыкания через те цепи, которые не рассчитаны на его протекание. Это может привести к повреждению дорогостоящего оборудования. Потребуется существенные материальные и временные затраты по анализу возникшей ситуации, разборке, дефектации и ремонту объекта контроля и КПА.

До недавнего времени отсутствовали устройства, позволяющие обеспечить контроль сопротивления изоляции шин относительно корпуса и защиту оборудования от замыканий шины на корпус в ходе испытаний. В частности, широко применяемый метод определения сопротивления изоляции при помощи мегаомметра позволяет измерить сопротивление изоляции только выходных каскадов оборудования до силовых коммутаторов перед началом испытаний.

Существуют методы контроля сопротивления изоляции, основанные на измерении напряжения между силовыми шинами и корпусом, но их применение осложняется наличием в системе большого количества линий с различными напряжениями питания. В этом случае возможно рассчитать лишь эквивалентное сопротивление изоляции, что не всегда позволяет адекватно оценить ситуацию на каждой линии и принять решение о завершении или продолжении испытаний [1].

Главным достоинством разработанного устройства контроля изоляции и защиты (УКИЗ) является возможность непрерывного контроля сопротивления изоляции на каждой из линий питания (при наличии напряжения на линии) непосредственно во время испытаний.

Структура устройства контроля сопротивления изоляции на основе предложенного метода показана на рисунке 1. Реализованный в УКИЗ метод определения сопротивления изоляции основан на измерении