

пропускания (-3 дБ) составила 620 МГц. Резонанс наблюдается на частоте 1,5 ГГц, при этом затухание равно -40 дБ. По (1) разность задержек мод равна 331 пс, это подтверждает результаты, полученные во временной области.

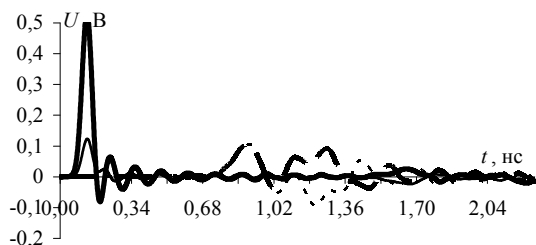


Рис. 12. Временные отклики для исходной структуры в начале активного (—) и пассивного (---) проводников; в конце активного (— — —) и пассивного (---) проводников

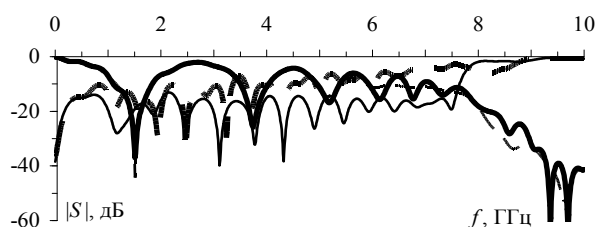


Рис. 13. Частотные зависимости: $|S_{11}|$ (—), $|S_{22}|$ (— — —), $|S_{21}|$ (— — —), $|S_{12}|$ (---)

Сравнение результатов моделирования

Краткие результаты моделирования для сравнения представлены в таблице.

При изменении области связи наблюдалось увеличение разности задержек. Так, в исходной структуре погонная разность задержек равна 860 пс/м, а в спиралевидной – 3,7 нс/м. Объясняется это тем, что из-за усложнений структуры нечетная мода проде-

лывает наибольший путь до выхода МФ, это увеличивает разность задержек мод.

Разность задержек мод и ослабление СКИ для исследуемых структур

	Исходная	Встречно-штыревая	Г-образная	Спиралевидная
Разность задержек, пс	86	76	200	370
Ослабление СКИ	2,3	2,3	3,7	5

Заключение

Таким образом, исследовано влияние периодического профиля области связи МФ на разность задержек мод сигнала. Вычислены частотные характеристики МФ при изменении геометрии периодического профиля, а также временные отклики на воздействие сверхкороткого импульса на рассматриваемые структуры. Предложены решения по совершенствованию конструкции МФ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Заболоцкий А.М. Новые решения для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов, И.Ф. Калимулин. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2016. – 288 с.
2. Хажикбеков Р.Р. Изменение задержки нечетной моды с помощью периодического профиля области связи проводников модального фильтра // Междунар. науч.-техн. конф. студ., асп. и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР–2017». – Томск: В-Спектр, 2017. – 3 с.
3. Stephen H. Hall. Advanced signal integrity for high-speed digital designs // Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. – 2009. – 608 p.
4. Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств среде CST MicrowaveStudio. – М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 150 с.

УДК 04.514

А.А. Квасников, С.П. Куксенко, Е.В. Лежнин

Разработка подсистем графического интерфейса системы TALGAT

Реализован интерактивный редактор данных для одновариантного и многовариантного анализа полосковых структур. Усовершенствованы средства визуального отображения и средства интерактивной работы с элементами в редакторе принципиальных схем.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, электромагнитная совместимость, полосковые структуры, TALGAT, QML, QT.

Проблема обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) является актуальной, помимо прочего, из-за увеличения количества радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), работающей в ограниченном пространстве. Подобные тенденции стали приводить к нарушению работы РЭА из-за взаим-

ных электромагнитных помех. Задача обеспечения ЭМС РЭА зачастую связана с дорогостоящими и длительными испытаниями. Выявление и устранение недостатков приводят к задержкам рабочего графика и финансовым затратам. Ранний учет ЭМС позволяет избежать подобных проблем, поэтому

целесообразен учет ЭМС на стадии проектирования посредством моделирования с помощью специализированного программного обеспечения (ПО). TALGAT является представителем данного класса ПО [1].

Анализ рынка показывает, что развитие такого рода ПО ведется в нескольких направлениях. Одним из них является усовершенствование графической оболочки. Интерфейс пользователя TALGAT содержит ряд недостатков. Так, ограниченные возможности подсистем графического ввода, например, для анализа полосковых структур, интерактивной работы с элементами в редакторе принципиальной схемы делают систему непривлекательной для конечных пользователей. Разработанные функциональности позволяют облегчить процесс взаимодействия с системой моделирования, а также добавляют элементы визуального программирования в частях системы вместо ввода текста скриптов.

Цель данной работы – разработка подсистем графического интерфейса системы TALGAT. Для достижения цели требуется решить следующие задачи: разработать подсистему графического ввода для анализа полосковых структур, включающую в себя интерактивный редактор данных; усовершенствовать средства визуального отображения и средства интерактивной работы с элементами в редакторе принципиальных схем.

Подсистема для анализа полосковых структур

Полосковые структуры – линии передачи, содержащие в себе проводники в виде полосок в воздухе либо на диэлектрической подложке. При проектировании данных структур большую роль играет математическое моделирование, состоящее в общем виде из следующих этапов: постановка задачи; формулировка уравнений; дискретизация модели и формирование системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ); решение СЛАУ; обработка результатов [2]. Для анализа полосковых структур ввиду их особенностей чаще всего используется квазистатический подход, который может потребовать сложных расчетов, например, как при одновариантном, так и при многовариантном анализе и структурно-параметрической оптимизации.

Одним из недостатков интерфейса TALGAT является отсутствие визуального редактора данных, предназначенного для одновариантного и многовариантного анализа полосковых структур. Иными словами, при работе с алгоритмами необходимо вручную вводить входные данные, разрабатывать конструкции кода, задавать параметры в внутреннюю консоль системы либо отдельное текстовое окно (рис. 1).

При освоении данного способа работы с программой у пользователей возникает наибольшее число вопросов. В ходе работы был реализован альтернативный вариант интерактивного взаимодействия пользователя с системой, с сохранением скриптового ввода, предпочтительного для опытных пользователей. Для реализации новых элементов и

средств графического управления использованы возможности Qt – кроссплатформенного инструментария на языке C++, а также специфический для Qt язык разметки и проектирования интерфейса пользователя – QML [3]. В результате реализован интерактивный редактор, интерфейс которого представлен на рис. 2.

```
SET "smnc" SMN_C conf
SET "smnl" SMN_L conf
ECHO CALCULATE_CQ smnc conf
ECHO CALCULATE_L smnl conf
INCLUDE MOM2D
SET INFINITE_GROUND 1
conf=create_conf(15.)
mesh=Mesh()
mesh.use_norma_when_comparing_to_tol()
mesh.return_percent()
mesh.return_new_c()
mesh.choose_comparison_type_cn()
mesh.tol=0.001000000475
mesh.steps=4.
mesh.eps=0.1000000149
DRAW_CONF2DQ(conf, mQ)
```

Рис. 1. Пример кода TALGAT, скриптовый ввод

Для рационального генерирования кода на основе полученной структуры данных использован паттерн «представление по шаблону» [4]. Паттерн позволяет оформлять представление веб-страницы (вывод кода в текстовое окно редактора) в соответствии с шаблонной структурой на основе маркеров. Идея данного типового решения состоит в том, что пользователь может задавать статическую часть страницы либо структуры без знания языков программирования. Таким образом, данный паттерн подходит для выбранной реализации, поскольку в зависимости от выбранных пользователем элементов интерфейса и введенных данных генерируются конструкции кода для интерпретатора.

После того как подокно для интерактивного редактора данных инициализировано, создается список типа QList из объектов класса OptParDataObject, который содержит в себе несколько значений типа Q_PROPERTY, методы для получения и установки этих значений (setValue, setName, setNumber...), а также сигналы, которые вызываются при изменении этих переменных. После этого создается объект типа QmlDialog, в который передаются список объектов класса OptParDataObject, название модели, которое будет использовано при обращении внутри QML-файла, и имя QML-файла, предварительно загруженного в ресурсы проекта. Данный подход к созданию интерфейса называется QObjectList-ориентированной моделью. При нажатии на элементы управления содержимое экрана редактора автоматически/динамически подстраивается под выбранный пользователем режим. Например, при выборе разных значений в блоке «Use AICOS» остальные блоки могут быть либо скрыты, либо заблокированы для активного использования (см. рис. 2).

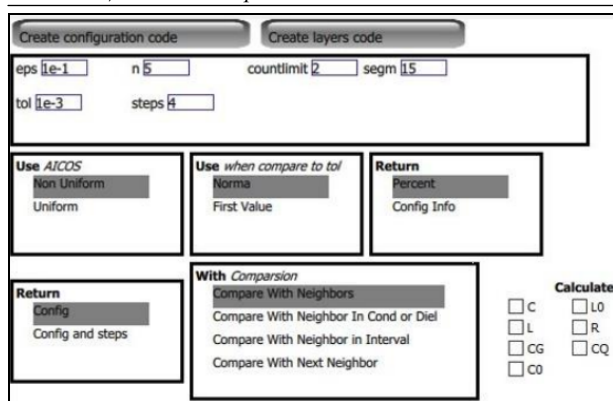


Рис. 2. Интерфейс интерактивного редактора

Для изменения сегментации анализируемой структуры пользователю доступен список параметров и методов [5]. Методы для создания сегментации включают в себя Uniform – использование равномерной сегментации и Non uniform – использование неравномерной сегментации. Алгоритм равномерной сегментации реализует равномерное учащение разбиений на каждом шаге итерационного процесса. Неравномерная сегментация позволяет локально учащать сегментацию и тем самым получать более гладкую аппроксимацию плотности распределения заряда (вектор-решение СЛАУ).

К параметрам равномерной сегментации относятся: *segm* – начальная длина сегмента, *tol* – порог сравнения контролируемой величины, *steps* – максимальное количество шагов алгоритма. К параметрам неравномерной сегментации относятся: *eps* – порог сравнения значений плотности заряда на текущем и соседних сегментах; *n* – значение, характеризующее количество сегментов, получаемых из одного сегмента при увеличении количества сегментов; *countlimit* – порог, характеризующий минимум изменившихся границ после шага алгоритма, при котором выполнение алгоритма будет продолжаться.

Методы для выбора способа сравнения плотности заряда соседних сегментов можно использовать только вместе с алгоритмом неравномерной сегментации. В этот список входят: *compare with neighbors* – сравнение, при котором используются значения, соответствующие всем соседним сегментам; *with neighbor in cond (conductor) or diel (dielectric)* – используются значения, соответствующие всем соседним сегментам, кроме тех, которые соответствуют другому проводнику либо диэлектрику; *with neighbor in interval* – используются значения соответствующие соседним сегментам, относящимся к текущей границе; *with next neighbor* – используются значения, соответствующие текущему и следующему сегментам. Методы для выбора способа сравнения контролируемой величины можно использовать с алгоритмами неравномерной и равномерной сегментации.

Метод *use norma when comparing to tol* позволяет использовать норму контролируемой величины, *use first value* – использовать значение первой строки первого столбца соответственно. Также существуют

методы для настройки возвращаемых значений. С алгоритмом неравномерной и равномерной сегментации можно использовать следующие методы: *configuration* – вернуть конфигурацию, *configuration and steps* – вернуть информацию о конфигурации и информации о шагах алгоритма. *Percent* – возвращать информацию о сегментации без привязки к размерам конфигурации, *config info* – возвращать только конфигурацию и информацию о шагах алгоритма (используются только с алгоритмом неравномерной сегментации). Стоит отметить, что пользователь может выбрать контролируемые параметры, которые будут задействованы при сегментации анализируемой структуры, при помощи нажатия соответствующего элемента управления – *checkbox*.

Данный способ интерактивного взаимодействия с системой является интуитивно понятным для начинающих и предоставляет возможности глубокой настройки алгоритма для опытного пользователя.

Редактор принципиальных схем

Реализованный редактор принципиальных схем текущей версии TALGAT не имеет механизма копирования элементов с сохранением их параметров и связей. Данный способ работы является одним из наиболее часто используемых инструментов во многих редакторах, содержащих элементы, которые предусматривают повторное либо множественное использование. При разработке данного функционала необходимо принять во внимание особенности разных элементов. Учитывая то, что структура элементов в системе является сложной и может состоять из различных комбинаций и взаимодействий, требовалось реализовать сохранение возможных связей между элементами и не допустить ошибок при индексации. Также одним из минусов графического редактора является факт того, что в системе нет возможности загрузки входных данных элементов из внешних источников.

При разработке функциональности механизма копирования использованы возможности буфера обмена. Вся логика находится в стандартном для Qt обработчике событий *mousePressEvent* и связанных с ним методах класса *WindowScheme*, отвечающего за большую часть событий и взаимодействий пользователя и системы [6]. Копирование элементов происходит в несколько этапов. При выборе элемента либо выделении нескольких элементов индексы данных объектов заносятся в специальные массивы – *elem* или *node*.

Далее эти массивы используются для передвижения или для копирования этих элементов. Следующий этап алгоритма зависит от выбора пользователя. В случае если используется комбинация клавиш, отвечающих за копирование, вызывается обработчик события *keyPressEvent*, в котором устанавливается флаг, указывающий на то, что при следующем нажатии на кнопку мыши выделенные объекты помещаются в позицию под курсором мыши. Таким образом, реализованная функциональность соответствует всем нормам интерактивных редакторов и в

полной мере позволяет использовать механизмы перемещения и копирования объектов.

В коде системы TALGAT взаимодействие с параметрами элементов схемы обрабатывается в классе SchOptDialog (рис. 3). В одну из вкладок диалогового окна элемента «источник тока» был добавлен режим загрузки данных из внешнего источника. При разработке был задействован sourceEditBox – метод, отвечающий за построение вкладок диалогового окна. Логика разработанной функциональности библиотеки данных находится в методе addVariableEditFilename – с помощью объектов типа QDir, QPath и методов, позволяющих фильтровать файлы при поиске в указанных директориях по типу/размеру и т.д., формируется список файлов, которые будут выведены в соответствующий comboBox элемент интерфейса [7]. При выборе одного из предложенных предзагруженных файлов из соответствующей библиотеки файлов данные передаются в соответствующие функции по разбору этих файлов.

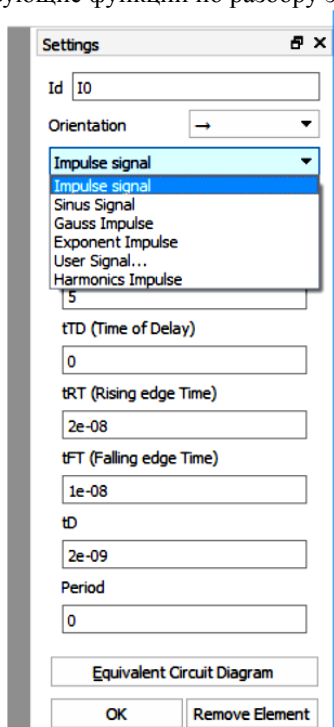


Рис. 3. Настройка параметров элемента «источник тока»

На рис. 4 изображен процесс выбора предварительно загруженных данных, представляющих собой библиотеку сигналов – сверхкоротких импульсов, хранящихся в текстовом формате [8]. В результате реализованная возможность загрузки данных из внешнего источника позволяет существенно сократить время, затрачиваемое на ручной ввод данных.

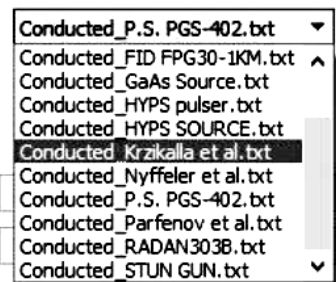


Рис. 4. Загрузка данных из внешних файлов

Заключение

Таким образом, в ходе работы архитектура подсистем и пользовательский интерфейс были реализованы в соответствии с требованиями к продукту. Редактор интерфейса, механизм копирования элементов, загрузка данных элементов из внешних файлов успешно интегрированы в систему, что способствовало снижению затрат времени пользователя на работу с алгоритмами одновариантного и многовариантного анализов полосковых структур и при копировании сложных структур. Стоит отметить, что реализованный функционал может быть использован в рамках учебного процесса.

Работа выполнена в рамках проекта 8.9562.2017/8.9 Минобрнауки РФ.

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. Gazizov T.R. Stable Delay of Microstrip Line with Side Grounded Conductors / T.R. Gazizov, V.K. Salov, S.P. Kuksenko // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2017. – Vol. 2017. – PP. 1–5.
3. Сайт инструментария Qt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.qt.io/>, свободный (дата обращения: 14.05.2017).
4. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. – М.: Вильямс, 2006 – 544 с.
5. Лежнин Е.В. Алгоритмы для квазистатического анализа полосковых структур. – Томск: Том. гос. университет систем управления и радиоэлектроники, 2017. – 62 с.
6. Qt Documentation. The Event System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://doc.qt.io/qt-4.8/eventsandfilters.html/>, свободный (дата обращения: 25.04.2017).
7. Qt Documentation. QDir Class [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://doc.qt.io/qt-5/qdir.html/>, свободный (дата обращения: 21.03.2017).
8. Mora N. Study and Classification of Potential IEMI Sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System Design and Assessment Notes. – 2014. – Note 41. – 92 p.