

О.Е. Глухова, К.А. Саяпин, М.М. Слепченков  
(г. Саратов, Саратовский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского)

O.E. Glukhova, K.A. Sayapin, M.M. Slepchenkov (Saratov, Saratov State University)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ОТКРЫТОГО ДОСТУПА QUCS В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ УСТРОЙСТВ**

APPLICATION OF THE QUCS OPEN ACCESS SOFTWARE PACKAGE  
IN THE LEARNING PROCESS FOR MODELING MICROWAVE DEVICES

*На примере микрополоскового направленного ответвителя показаны основные возможности программного пакета открытого доступа Qucs для схемотехнического моделирования микроволновых устройств в рамках учебного процесса студентов бакалавриата и магистратуры радиофизических направлений подготовки.*

*Using the example of a microstrip directional coupler, the main features of the Qucs open access software package for circuitry modeling of microwave devices as part of the educational process of undergraduate and graduate students and masters in radiophysical training are shown.*

*Ключевые слова: линии передачи, СВЧ-техника, САПП.*

*Keywords: transmission lines, microwave technology, CAD.*

Повсеместное использование программных пакетов инженерных расчетов при проектировании СВЧ-устройств вызывает необходимость внедрения в план обучения студентов радиофизических направлений подготовки программ схемотехнического и электродинамического моделирования. Электродинамическое моделирование, к достоинствам которого относится наглядность протекающих физических процессов в исследуемых электронных устройствах, может занимать значительное время выполнения и его результаты не всегда правильно интерпретируются обучающимися при их недостаточной теоретической подготовке. Схемотехническое моделирование способствует лучшему усвоению лекционного материала и создает необходимую теоретическую базу для дальнейшего изучения более сложных методов моделирования.

Наиболее распространенными в инженерной практике являются пакеты схемотехнического моделирования AWR Design Environment [1] и Keysight ADS [2], имеющие также модули 2,5D-электродинамической симуляции на основе метода моментов. Отсутствие русификации, сложность структуры, а также проприетарная лицензия, затрудняющая использование перечисленного ПО для самостоятельной работы, осложняют освоение студентами этих программных пакетов. В этой связи требуется ПО

схемотехнического моделирования со свободной лицензией, в состав которого входят основные типы линий передачи и имеется возможность моделирования S-параметров. Программный пакет Qucs [3] удовлетворяет перечисленным требованиям и по своему интерфейсу близок к профессиональному пакету Keysight ADS, в связи с чем является наиболее оптимальным для использования в учебном процессе. Благодаря наличию в нем базовых схемотехнических модулей возможно моделирование основных функциональных устройств СВЧ: ступенчатых трансформаторов сопротивлений, различных типов фильтров, направленных ответвителей на основе связанных линий передачи, шлейфных направленных ответвителей [4].

В качестве примера рассмотрим особенности процесса моделирования микрополоскового трехступенчатого несимметричного направленного ответвителя на базе связанных линий (рис. 1).

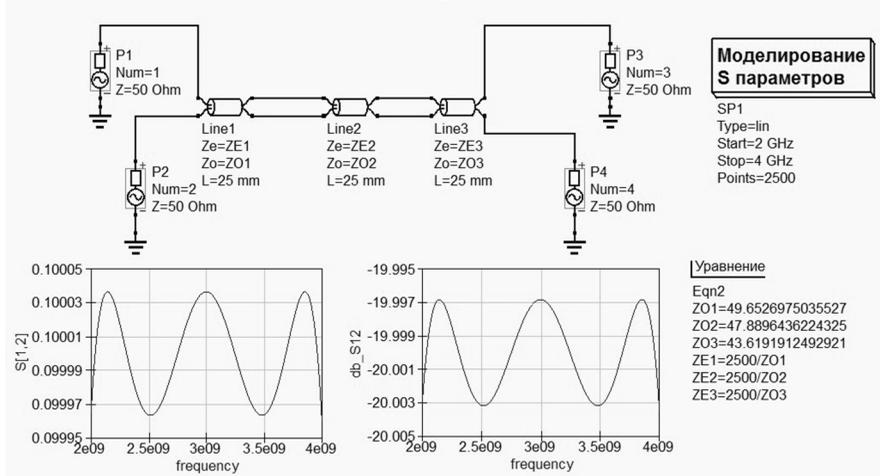


Рис. 1. Изображение модели направленного ответвителя в приближении Т-волн и её частотная зависимость переходного затухания в программе Qucs

Зададим рабочий диапазон частот 2...4 ГГц и величину переходного затухания -20 дБ. Волновое сопротивление подводящих линий  $Z_0$  будем полагать равным 50 Ом. Процесс моделирования состоит из нескольких этапов, на первом из которых произведем оптимизацию модели ответвителя в приближении Т-волн, учитывая при этом условие идеального согласования:

$Z_0 = \sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}$ , где  $Z_{0e}$  и  $Z_{0o}$  – волновые сопротивления четного и нечетного типов возбуждения связанных линий соответственно. В качестве цели оптимизации зададим минимизацию отклонения функции переходного затухания от номинального значения, равного -20 дБ. Для оптимизации используем метод дифференциальной эволюции. Как показывает опыт использования Qucs, интегрированный в программный пакет модуль

оптимизации ASCO не всегда отвечает запросам продвинутого пользователя, поскольку в нем отсутствует ряд эффективных алгоритмов (например, метод Нелдера-Мида, генетический алгоритм, градиентные методы), однако имеющихся возможностей достаточно для качественного понимания студентами принципов параметрического синтеза.

На следующем этапе производится расчет геометрических размеров отрезков микрополосковой линии передачи на основе решений задачи синтеза в приближении Т-волн при помощи встроенной в Qucs утилиты «Расчет линии».

Полученная схмотехническая модель микрополоскового направленного ответвителя и частотная зависимость его переходного затухания приведены на рис. 2. Можно заметить, что отклонение амплитудно-частотной характеристики от заданного номинального значения несколько увеличилось по сравнению с моделью в приближении Т-волн и составляет 0,45 дБ. Это объясняется разностью фазовых скоростей электромагнитных волн для четного и нечетного типов возбуждения, наблюдаемой в микрополосковой линии [4]. Уменьшить отклонение амплитудно-частотной характеристики от заданного номинального значения переходного затухания можно за счет выполнения параметрической оптимизации микрополосковой модели, введя в этом случае дополнительную цель оптимизации – ограничение на максимальное значение величины обратных потерь, а в качестве варьируемых параметров используя ширину  $W$  полосков и величину зазора между ними  $S$ .

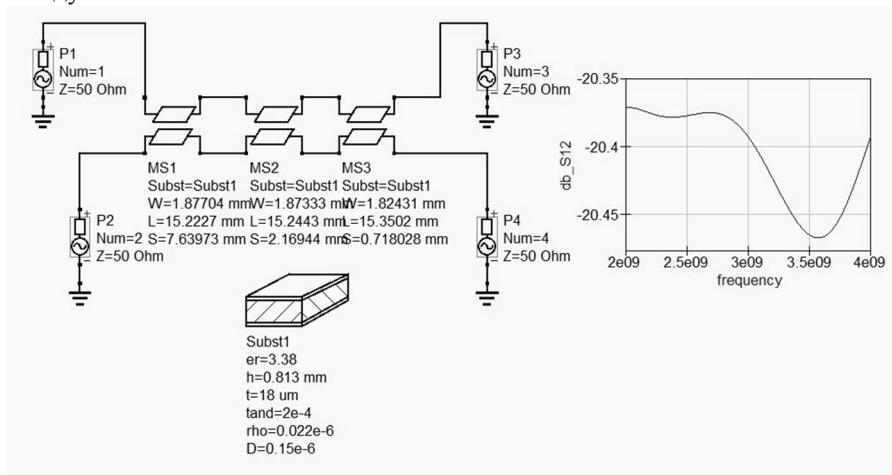


Рис. 2. Схмотехническая модель направленного ответвителя на микрополосковой линии передачи

На завершающем этапе производится добавление вспомогательных элементов – поворотов и отрезков подводящих линий, - необходимых для обеспечения возможности подключения устройства к внешней цепи.

Полученные геометрические размеры устройства можно использовать при построении 2,5D- и 3D-электродинамических моделей в таких программах, как AWR AXIEM и Ansoft HFSS.

Таким же образом проводится моделирование других функциональных устройств СВЧ с Т- и квази-Т-волнами. Возможности моделирования волноводных устройств, в частности фильтров, ограничены отсутствием диафрагм различного типа.

Таким образом, на примере моделирования направленного ответвителя показаны основные возможности программного пакета Qucs при использовании его для синтеза и анализа микроволновых устройств в рамках учебного процесса.

#### Список литературы

1. AWR Design Environment NI. – URL: [www.awr.com](http://www.awr.com) (дата обращения: 20.09.19).
2. Keysight ADS. – URL: [www.keysight.com](http://www.keysight.com) (дата обращения: 20.09.19).
3. Quite universal circuit simulator. – URL: [www.qucs.sourceforge.net](http://www.qucs.sourceforge.net) (дата обращения: 20.09.19).
4. Фуско, В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование / В.Фуско; перевод с англ. А.А. Вольфман, А.Д. Муравцова; под ред. В.И. Вольмана. – М.: Радио и связь, 1990. – 287 с.

*Материал поступил в редколлегию 12.10.19.*

DOI: 10.30987/conferencearticle\_5e028213164169.80459522  
УДК 621.311.6

К.В. Быков, Н.М. Лазарева, В.М. Яров  
(г. Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА», Чувашский государственный  
университет)

K.V. Bykov, N.M. Lazareva, V.M. Yarov (Cheboksary, LLC Research and Production  
Enterprise "ECRA", Chuvash State University)

### СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХУРОВНЕВОГО ПОВЫШАЮЩЕГО КОНВЕРТОРА

#### STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A THREE-LEVEL BOOST CONVERTER

*Приведено сравнение двухфазного и трехуровневого повышающих конверторов для фотоэлектрических преобразователей. Сделан вывод о преимуществах трехуровневого повышающего конвертора, по кривой разгона получена его модель в виде передаточной функции.*

*A comparison of two-phase and three-level boost converters for photovoltaic converters is given. The conclusion is made about the advantages of a three-level boost converter, and its model in the form of a transfer function is obtained from the acceleration curve.*