

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Фомина Дмитрия Геннадьевича
на тему «Методика проектирования объемно-модульных частотно-селективных СВЧ устройств и её применение», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии»

Актуальность диссертации продиктована стремлением разрабатывать компактные устройства с использованием новых технологических возможностей, что позволяет увеличить степень интеграции радиоэлектронных блоков и систем. Диаграммообразующие схемы антенных систем, фильтры, частотно-разделительные устройства, зачастую имеют существенные размеры в связи с тем, что составляющие их элементы, например, выполненные по технологии печатных плат СВЧ, привязаны к длине волны рабочего диапазона частот. В свое время были предложены конструкции, названные объемные интегральные схемы СВЧ, которые за счет использования многослойных печатных плат позволили существенно повысить интеграцию элементов. Однако основной проблемой компоновки таких структур являлось обеспечение межслойных переходов. Металлизация переходных отверстий существенно усложняет процесс изготовления. Применение элементов связи в виде щелей, электромагнитно связанных с элементами в смежных слоях, упростило изготовление. Однако с одной стороны такие переходы сужают рабочую полосу частот, с другой требуют предварительного точного моделирования. Электромагнитное моделирование обеспечивает необходимую точность, однако требует достаточно точного начального приближения размеров топологических структур. Процессы оптимизации печатных схем СВЧ требуют много времени и оперативной памяти. Схемотехническое моделирование позволяет существенно ускорить расчеты, однако требует адекватных моделей для элементов схем.

Диссертация посвящена разработке методов проектирования межслойных переходов печатных плат СВЧ, содержащих щелевые элементы

связи с полосковыми линиями, а также частотно-селективных устройств на их основе. В связи с широким применением частотно-селективных и частотно-разделительных устройств в высокочастотной технике тему диссертационной работы следует признать актуальной.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, приложения с 4 патентами и актов внедрения результатов диссертационной работы в производство ООО «ПО «КОМПАС» и учебный процесс Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета). Основная часть работы изложена на 165 страницах. Диссертация содержит 123 иллюстрации и 22 таблицы. Список литературы включает 118 наименований. Ссылки на литературу в тексте диссертации представлены.

Во введении автор обосновывает актуальность, научную и практическую значимость проводимых изысканий, формулирует цель, задачи, область и предмет исследования. Приведены положения, претендующие на научную новизну и выносимые на защиту, перечислены современные методы исследования, использованные при написании диссертации, определены теоретическая значимость и практическая ценность результатов. Указана сфера апробации полученных результатов.

В первой главе диссертант представил краткий анализ современного состояния проблемы применения частотно-селективных СВЧ устройств, отметил их роль и место в составе приемо-передающих модулей, привел классификацию частотно-селективных устройств СВЧ по электрическим и конструкторско-технологическим признакам, отметил их достоинства и недостатки, рассмотрел применение данных устройств в составе резонаторных систем измерения параметров диэлектрических материалов, проанализировал основные принципы построения объемно-модульного построения СВЧ устройств.

Во второй главе рассмотрен межслойный полосково-щелевой переход и предложена его эквивалентная схема. Определены параметры классической матрицы передачи составляющих элементов. Рассмотрены симметричные и несимметричные полосковые линии, экранированные и неэкранированные щелевые линии, определены их волновые сопротивления. Рассчитаны и представлены в графиках частотные зависимости коэффициентов отражения и передачи полосково-щелевого перехода для различных комбинаций исполнения линий. Рассмотрено многомодовое возбуждение переходной щели и предложены конструкции переходов с расширенной полосой частот, а также с односторонним расположением полосковых линий. Предложены их эквивалентные схемы. Приведено сравнение расчетных и экспериментальных данных.

В третьей главе предложены конструкции широкополосных полосно-пропускающих фильтров на основе многослойного полосково-щелевого перехода с симметричными и несимметричными полосковыми линиями, представлены их эквивалентные схемы. Описана предложенная конструкция частотно-разделительного СВЧ устройства в многослойном исполнении и его эквивалентная схема. Приведены результаты исследования частотно-перестраиваемого СВЧ устройства и описано его применение для оценки диэлектрических свойств материалов.

В Заключении сформулированы основные теоретические и практические результаты диссертационной работы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена эквивалентная схема замещения перехода от одной полосковой линии к другой за счет электромагнитной связи со щелью и на ее основе создана математическая модель этого перехода с использованием классических матриц передачи. Предложенная модель позволяет выполнять оптимизацию частотных характеристик перехода с малыми вычислительными ресурсами.

2. Предложена конструкция полосково-щелевого перехода с многомодовым режимом возбуждения щели, обеспечивающая с одной стороны расширение полосы рабочих частот СВЧ устройств, использующих этот переход, с другой – возможность размещения полосковых линий в одной плоскости. Предложена эквивалентная схема замещения элементов перехода, позволяющая рассчитывать его частотные характеристики.

3. Разработана методика проектирования объемно-модульных конструкций частотно-селективных устройств СВЧ в печатном исполнении, а именно, полосовых фильтров, частотно-разделительных и частотно-перестраиваемых устройств.

4. Предложены оригинальные конструкции объемно-модульных печатных многослойных частотно-селективных СВЧ устройств.

Достоверность и обоснованность основных выводов и результатов диссертации определяются следующим:

- научные положения, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации, базируются на использовании эквивалентных схем замещения элементов конструкций рассмотренных устройств, связанных с законами поведения электромагнитного поля, и на сравнении с результатами электродинамического моделирования в специализированных программных средах;
- результаты моделирования проверены в ходе экспериментальных исследований макетов разработанных устройств.

Практическая ценность результатов работы заключается в предложенном автором подходе конструирования частотно-селективных устройств на основе технологии печатных плат СВЧ с существенным уменьшением габаритов устройств при не ухудшении их частотных характеристик за счет модульно-слоистой структуры с использованием разработанных базовых элементов. Разработаны многочисленные

конструкции фильтров и частотно-разделительных устройств. Имеется внедрение результатов работы на одном из предприятий и в учебном процессе.

Автор продемонстрировал хорошее владение современными методами исследований. Выводы и рекомендации работы обоснованы, доказаны и могут быть полезны для научных работников и инженеров, занимающихся вопросами проектирования устройств СВЧ.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и хорошо отражает основные результаты исследования.

В статьях автора и его выступлениях на научно-технических конференциях отражены практически все этапы и результаты описанных в диссертации исследований.

Анализ диссертации позволяет утверждать, что тема работы Фомина Д.Г. соответствует паспорту научной специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии», а содержание диссертации соответствует теме. Стил и язык диссертации и автореферата соответствуют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Вместе с тем, необходимо отметить следующие недостатки:

1. Не удачно сформулированы положения научной новизны в большей части в стиле положений, выносимых на защиту.

2. Автор многократно говорит о величине погрешности вычислений параметров СВЧ устройств для предложенного подхода. Однако нигде в тексте не обозначены частотные диапазоны, в которых это утверждение остается в силе.

3. При составлении матриц передачи с использованием элементов эквивалентной схемы автор использует волновые сопротивления полосковых и щелевых линий, зависящих от параметров диэлектрика и поперечных размеров линий. В тоже время при расчете фазовых соотношений используется понятие электрической длины элементов линий. Многократно в

тексте встречаются утверждения об отрезках в половину и четверть длины волны. Не ясно, о какой длине волны идет речь: в свободном пространстве, диэлектрике, линиях. В тексте диссертации нет ни одной формулы, позволяющей от электрических размеров перейти к физическим размерам элементов. Как же диссертант с использованием своей модели рассчитал размеры элементов переходов для макетирования?

4. В подписях графиков и многочисленных таблицах рассматривается сравнение схмотехнического и компьютерного моделирования. Следует предположить, что диссертант все же использовал компьютер для расчета характеристик схмотехнических моделей. Однако, об использованном для сравнения программном продукте автор утаил.

5. Во второй главе рассмотрены частотные свойства переходов и выполнено сравнение результатов для нескольких фиксированных значений волновых сопротивлений. Сетка значений 25, 50, 75 и 100 Ом автором не обоснована. Простота расчета параметров переходов в схмотехнической модели в отличие от электродинамической без труда позволяет выполнять оптимизацию АЧХ устройств. В других разделах диссертации автор использовал линии с иными значениями волнового сопротивления, например, щелевой в разделе 2.3.1 6 Ом, в разделе 2.3.2 полосковых 33,5 Ом, щелевых 60, 90 и 105 Ом. Выбор значений в тексте не обоснован.

6. Имеется некоторое противоречие при построении АЧХ полосково-щелевого перехода на графике 2.32 (один резонанс только при равенстве волновых сопротивлений щелевой и полосковой линии 50 Ом) и на графике 2.24 (один резонанс при волновом сопротивлении полосковой линии 50 Ом, а щелевой 6 Ом).

7. Элементы матрицы A в формуле (2.13) на побочной диагонали имеют размерности Ом и Ом⁻¹, а после нормировки в (2.16) они стали безразмерными. Должно появиться значение нормирующего сопротивления.

8. Автор отметил, что расчет волнового сопротивления щелевой по формуле (2.41) обеспечивает точность 2 %. В то же время при сравнении с компьютерным моделированием этой линии погрешность по расчетам диссертанта составила до 8,5%. То есть выбранный программный продукт дает неверный результат.

Указанные недостатки не снижают научной и практической значимости работы. Диссертация Фомина Дмитрия Геннадьевича является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 2.2.14 – «Антенны, устройства СВЧ и их технологии».

Официальный оппонент Шабунин Сергей Николаевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектроники и телекоммуникаций

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002, Екатеринбург, ул. Мира 19

Тел. +7 (343) –375–48–86

s.n.shabunin@urfu.ru

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

