

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Сагиевой Индиры Ериковны

"Стабильность характеристик модифицированных микрополосковых линий",
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Актуальность темы диссертации

Влияние изменения параметров линий передачи на их характеристики важно учитывать, чтобы гарантировать, что отклонение характеристик остается в допустимых пределах. Эта проблема обостряется при массовом использовании линий передачи, например в печатных платах, где из-за этого даже может уменьшиться процент выхода годных. Переход к более совершенным технологиям производства печатных плат позволяет снять ряд вопросов, но оказывается гораздо более затратным, уменьшая одно из главных достоинств печатного монтажа: его дешевизну. Поэтому поиск любых возможностей уменьшения чувствительности критичных характеристик полосковых линий к изменению их параметров довольно важен. Частный случай одновременного изменения параметров линий, несмотря на его специфику, имеет большое практическое значение, так как позволяет моделировать влияние температуры на все параметры линии. Следствием такого моделирования является выявление важной возможности: компенсации влияния одних параметров противоположным влиянием других, что в итоге позволит уменьшить результирующее влияние, причем, не прибегая к дорогим высокоточным технологиям. Большинство известных исследований часто ограничивалось рассмотрением обычной микрополосковой линии. Автор же рассмотрел целый ряд других линий и дополнил свой анализ учетом влияния конструктивного исполнения: в части заземления дополнительных проводников. Поэтому тема работы актуальна.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности положений, выносимых на защиту, достаточно высока. Так, в первом положении, утверждение о возможности минимизации чувствительности погонной задержки и волнового сопротивления основано на анализе каждой из ряда рассматриваемых в работе линий, и такая возможность, действительно, показана для изменения отдельных параметров. При этом из поведения многочисленных зависимостей ясно видны отдельные точки, где чувствительность уменьшается до нуля. Что касается второго, самого сложного, положения, то в нем качественно отражено влияние соединения дополнительных проводников исходной линии с опорным только на концах, в отличие от их нахождения под нулевым потенциалом вдоль всей линии. При этом приведены количественные оценки предельных отклонений погонных задержек, полученные на основании многочисленных результатов моделирования, приведенных в таблицах диссертации для каждой линии. В третьем положении утверждается о новом свойстве (защиты от сверхкоротких импульсов) микрополосковых линий после определенных модификаций. Это свойство обосновано содержанием третьего раздела и показано на трёх разных конструкциях с конкретными значениями параметров. Наконец, четвертое положение аккумулирует возможности проведенного анализа и результаты ряда выполненных экспериментов по влиянию температуры.

Касательно степени обоснованности выводов, прежде всего, должно отметить, что они четко сформулированы в последнем подразделе каждого раздела. Так, в конце первого раздела они представляют собой цель и задачи работы, логично вытекающие из выполненного обзора, связанного с объектом и предметом исследования. В последующих, оригинальных, разделах они сформулированы как основные результаты раздела и выводы и обоснованно обобщают полученное. Обращает внимание большой объем результатов и выводов по третьему разделу и кратко сформулированная в его конце методика.

Рекомендации, предложенные в диссертации, состоят из двух частей. Первая обобщена в первом пункте подраздела "Практическая значимость" во Введении и представляет собой совокупность инструментов, успешно использованных автором на

структурах различной сложности. Вторая кратко, но достаточно ёмко, сформулирована в четырех предложениях подраздела "Рекомендации" в Заключение и является логичным следствием работ и результатов, представленных в диссертации.

Достоверность результатов

Оценивая достоверность результатов, необходимо, прежде всего, отметить, что автор решил вынести почти все посвященные этому результаты в отдельный раздел 5 "Подтверждение достоверности результатов", который занял 36 с. На первый взгляд, это кажется не очень естественным, из-за отрыва каждого результата от своего места, но, после прочтения всего раздела, представляется оправданным, из-за видения общей картины из самых разнообразных результатов, подтверждающих достоверность.

Прежде всего, должно отметить, что основные результаты работы получены моделированием, причем, в программном продукте TALGAT, одним из авторов которой является соискатель, как это следует из публикации [25] автореферата. С помощью TALGAT ранее выполнено довольно много исследований, и достоверность их результатов неоднократно доказана, как это следует, например, из статьи автора ([3] в автореферате) в журнале Complexity. Но, кроме этого, автор старается тщательно верифицировать результаты и другими методами.

Так, достоверность результатов раздела 2 подтверждена на одной из структур, причем, вычислительным, а не натурным, экспериментом. Однако это сделано тщательным моделированием той же структуры, выполненным не только в других программах, но и другим методом. В итоге, исходные результаты сравнены с полученными тремя другими способами. При этом максимальное отклонение составило лишь 2%, что подтверждает достоверность исходных результатов, полученных методом моментов, не оставляя сомнений в точности его результатов и для остальных линий.

Интересным решением по проверке достоверности является использование аналитической модели для временного отклика. Так, автором совместно с коллегами, как следует из доклада [8] автореферата, получена такая модель для асимметричной связанной линии и выполнено сравнение результатов, полученных по ней и в TALGAT. Продемонстрировано полное совпадение на примере разложения исходного импульса на два импульса равной амплитуды, что подтверждает достоверность второго и третьего положений, основанных на результатах раздела 3.

Переходя к анализу собственных значений и векторов для линии с двумя дополнительными симметричными проводниками, автор предварительно анализирует результаты, полученные в TALGAT и теоретически. В итоге, показана согласованность этих результатов для элементов каждого собственного вектора.

Конечно, автор проверил результаты моделирования и натурным экспериментом. Для этого изготовлены два макета (короткий и длинный, для полного разложения импульсов) микрополосковой линии с дополнительными боковыми проводниками, именно с теми параметрами, которые использованы в заявке на изобретение. Для обоих макетов сначала измерены S-параметры в диапазоне частот до 10 ГГц векторным анализатором цепей. Их сравнение с результатами моделирования показало, в целом, хорошую согласованность, а причины различия пояснены автором. То же касается сравнения и временных откликов, полученных из экспериментальных частотных. Наконец, большие усилия приложены автором к проверке достоверности температурных исследований. Для этого сначала выполнена оценка температурного коэффициента диэлектрической проницаемости материала именно на самом макете посредством его нагревания и измерения ёмкости. Затем использована температурная камера для аналогичного измерения S-параметров, но при изменении температуры от комнатной до минус 50°C и до 150°C. Важно отметить, что для этого использовался другой прибор и верхняя частота увеличена до 15 ГГц, что дало более близкие к результатам моделирования временные отклики.

В итоге, достоверность результатов подтверждена самыми разными способами, тщательно и целесообразно реализованными. Однако нельзя не отметить, что

определенным доказательством достоверности результатов является и их широкая апробация. Она выполнена за счет большого числа докладов на конференциях различного уровня, в т.ч. индексируемых в базах Scopus и Web of Sciences. Кроме того, она подтверждается и статьями в журналах из перечня ВАК, а также Scopus и Web of Sciences, даже в Q1.

Новизна

Научная новизна сформулирована автором в четырех пунктах и определяется следующим:

- зависимостями основных квазистатических параметров ряда одиночных линий передачи от их геометрических параметров (отличающимися демонстрацией разнообразных возможностей снижения чувствительности при сложной конструкции линий);
- комплексным исследованием распространения сверхкороткого импульса в вышеуказанных линиях (отличающимся выявлением влияния мод Т-волн при соединении дополнительных проводников линии с опорным только на концах);
- способом построения модальных фильтров (отличающимся асимметричным расположением активного и пассивных проводников относительно опорного и соединением пассивных с опорным только на концах);
- комплексным исследованием влияния температуры на параметры и характеристики вышеуказанных линий (отличающимся диапазоном от минус 50°C и до 150°C).

Замечания

1. Не приведена погрешность результатов измерения: она бы показала ещё большую корректность моделирования.
2. Пункт 5 раздела 3.5 диссертации начат с новой страницы.
3. В тексте диссертации есть стилистические ошибки.
4. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ и отражает содержание диссертации, но очень краток и сжат.

Заключение

Указанные выше замечания не влияют на результаты работы. Сформулированные научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в заключении, обоснованы. Полученные результаты являются достоверными. В публикациях автора отражены основные результаты исследований. Новизна результатов подтверждена патентоспособностью поданных заявок на изобретения, а практическая значимость – актами внедрения. В работе раскрыта её цель. Проведенное исследование представляется завершённым.

Считаю, что диссертационная работа Сагиевой И.Е. "Стабильность характеристик модифицированных микрополосковых линий" соответствует требованиям п. 9-14 положения ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Официальный оппонент, доктор технических наук (05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления), профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств ФГБОУ МИРЭА-Российского технологического университета

С.У. Увайсов

ФГБОУ ВО МИРЭА-Российский технологический университет
119454, Москва, пр. Вернадского, 78
Телефон: +7 499-215-65-65
E-mail: uvajsov@mirea.ru
Подпись Увайсова Сайгида Увайсовича удостоверяю:

Заместитель начальника
Управления кадров



О. Налетова