

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
«МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ»

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 422 группы

направления 11.03.02 Инфокоммуникационные

технологии и системы связи

физического факультета

Дмитриева Александра Александровича

Научный руководитель

к.ф.-м.н., ассистент

_____ К.С.Сергеев

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

_____ В.С. Анищенко

Саратов 2019

Введение

В современном мире объем передаваемой информации непрерывно возрастает. Для передачи информации необходима быстрая и качественная связь, которая играет всё большую и большую роль в развитии мировой экономики.

Можно выделить следующие виды связи: проводная связь, волоконно-оптическая связь и радиосвязь. При радиосвязи для передачи сигнала используются радиоволны

В зависимости от значения частоты (длины волны) радиоволны относят к тому или иному диапазону радиочастот (диапазону длин волн).

В широком смысле радиоволнами являются всевозможные волновые процессы электромагнитного поля в аппаратуре (например, в волноводных устройствах, в интегральных схемах СВЧ и др.), в линиях передачи и, наконец, в природных условиях, в среде, разделяющей передающую и приёмную антенны.

Для аппаратуры, работающей в сантиметровом и дециметровом диапазоне длин волн, как правило, используют в качестве линий передачи волноводы, коаксиальные и полосковые линии.

Полосковые линии передачи по сравнению с коаксиальными и волноводными гораздо проще и дешевле в изготовлении.

Полосковые передающие линии СВЧ впервые использовали в период второй мировой войны в целях деления мощности антенных систем.

Активно развивалась техника печатных схем полосковых устройств СВЧ в послевоенные годы. Интерес широкого круга радиоспециалистов к такому новому типу линий передачи, как полосковые, непрерывно возрастал примерно до середины пятидесятых годов. Это объясняется тем, что многих исследователей привлекала лёгкость и простота изготовления устройств СВЧ на основе полосковых линий в лабораторных условиях. Ведь для изготовления требовались лишь ножницы, металлическая фольга, пластины диэлектрика и клей. Однако вскоре выяснилось, что дело обстоит не так просто. Оказалось,

что для получения хороших параметров устройств СВЧ необходимы высококачественные диэлектрики и клей, а также высокая точность изготовления. Большие трудности возникли при разработке широкополосных неотражающих переходов к волноводам и коаксиальным линиям, а также сочленений отдельных полосковых устройств (интегральная техника в то время ещё не получила широкого развития). С физической точки зрения полосковые линии передачи не сложны, но математические расчеты оказались очень трудными в тот период, когда не было широкого распространения вычислительной техники.

Вследствие этого интерес к исследованию и применению полосковых линий со стороны широкого круга специалистов в последующие годы несколько снизился, но с началом шестидесятых годов снова резко возрос. Это объясняется быстрым развитием космических исследований, физики и техники полупроводников, интегральной техники, широким применением твёрдотельных параметрических усилителей, ЭВМ и т.п.

В 70-е годы объём исследований в области полосковой техники был очень велик. Этой теме посвящено много статей, опубликованных в различных отечественных и зарубежных журналах. Значительный вклад в теорию и практику полосковых систем внесли советские учёные В.И.Сушкевич, А.Л.Феьдштейн, Л.Р.Явич, И.С.Ковалёв, Л.Г.Малорцкий, В.М.Седых и др.

В настоящее время все чаще реальные физические эксперименты заменяются компьютерным моделированием, что обусловлено бурным развитием вычислительной техники.

Целью работы является разработка компьютерной программы для определения параметров полосковых линий

Необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть типы полосковых линий и выбрать объект исследования для компьютерного моделирования;
- выбрать программу моделирования;
- по заданным параметрам произвести моделирование;

— выполнить анализ полученных результатов

Обоснование темы работы

Полосковая линия в технике сверхвысоких частот — это плоскостная линия, канализирующая электромагнитные волны в воздушной или иной диэлектрической среде вдоль двух или нескольких проводников, имеющих форму тонких полосок и пластин. Наряду с двухпроводными и коаксиальными линиями полосковая линия представляет собой разновидность радиоволновода. Электропроводящим материалом полосок и пластин служат медь, сплавы металлов, обладающие высокой проводимостью, серебро или (реже) золото, а в качестве диэлектрика выбирается фторопласт, полиэтилен, ситалл, керамика или др. материал с малыми потерями энергии на СВЧ и высокой диэлектрической проницаемостью (до 20).

Существует много типов полосковых линий, которые подразделяют на симметричные и несимметричные линии. В симметричных полосковых линиях распространяются электромагнитные волны типа ТЕМ, в несимметричных — квази-ТЕМ.

Полосковые линии характеризуются:

— волновым сопротивлением (обычно 50—150 Ом), зависящим от типа диэлектрика и геометрических размеров линии,

— коэффициентом затухания на единицу длины (обычно 0,1—1,8 дБ/м),

— рабочей полосой частот (практически 100МГц — 100 ГГц).

На основе полосковых линий конструируются многие элементы и узлы сверхвысокочастотной техники — направленные ответвители, делители мощности, электрические фильтры, смесительные и детекторные головки и т.д.

В современных радиотехнических системах связи, радиолокации и радиомониторинга широко используются частотно-селективные (частотно-избирательные) устройства СВЧ, реализуемые, в том числе на основе микрополосковых линий

Полосковая линия — единственный тип линий передачи СВЧ сигналов, обеспечивающий возможность комплексной микроминиатюризации радиотехнических устройств и допускающий изготовление устройств СВЧ в интегральном исполнении. В гибридных интегральных схемах применяют т. н. микрополосковые линии.

Сейчас все более доступными и продвинутыми становятся средства компьютерного моделирования. Их применение дает результаты тем более точные, чем лучше проработана компьютерная модель.

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить так называемые вычислительные эксперименты, в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий или могут дать непредсказуемый результат. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет выявить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта-оригинала (или целого класса объектов), в частности, исследовать отклик моделируемой физической системы на изменения ее параметров и начальных условий.

Структура и характеристики модели

Объектом исследования в данной работе выбираем симметричную полосковую линию передачи. Принимаем к проектированию программу по расчету параметров симметричной полосковой линии. СПЛ рассмотрена в пункте 1.3. Раскроем более подробно конструкцию проектируемой линии.

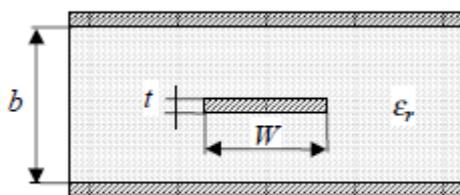


Рисунок 1 – Конструкция симметричной полосковой линии.

Обозначения на рисунке 1: t – толщина проводника, W – ширина проводника, b – толщина диэлектрика, ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика

Для упрощенного анализа толщину центрального полоскового проводника t считаем пренебрежимо малой. Приведенные ниже выражения получены с нулевой толщиной центрального полоскового проводника ($t=0$).

Формула волнового сопротивления имеет вид

$$Z_0 = \frac{30\pi K'(k)}{\sqrt{\epsilon_r} K(k)} \quad (1)$$

Для получения простого соотношения для волнового сопротивления используют следующую аппроксимацию для соотношения K/K' вида:

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \begin{cases} \left[\frac{1}{\pi} \ln \left(2 \frac{1+\sqrt{k'}}{1-\sqrt{k'}} \right) \right]^{-1} & \text{для } 0 \leq k \leq 0,7, \\ \frac{1}{\pi} \ln \left(2 \frac{1+\sqrt{k'}}{1-\sqrt{k'}} \right) & \text{для } 0,7 \leq k \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

Эти формулы позволяют рассчитать точное значение волнового сопротивления Z_0 .

Потери в диэлектрике прямо пропорциональны частоте и $tg\delta$. На СВЧ потери в диэлектрике, как правило, малы по сравнению с потерями в проводниках. Однако в миллиметровом диапазоне в диэлектрике становятся сравнимыми с потерями в проводниках, так как потери в диэлектрике с ростом частоты возрастают по линейному закону, в то время как потери в проводниках пропорциональны квадратному корню из частоты.

Максимальная рабочая частота в полосковой линии ограничена возможностью возбуждения волны H -типа. Для широких линий критическая частота (ГГц) H -волны низшего типа определяется формулой:

$$f_{кр} = \frac{15}{b\sqrt{\epsilon_r}} \frac{1}{(W/b + \pi/4)}, \quad (3)$$

где W и b выражены в сантиметрах.

Из формулы (3) следует, что критическая частота уменьшается при увеличении расстояния между заземленными пластинами или увеличении диэлектрической проницаемости.

Для определения КСВ (Коэффициента стоячей волны) введем следующие формулы:

$$КСВ = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}, \quad (4)$$

где Γ - коэффициент отражения.

Определим коэффициент отражения через волновое сопротивление и напряжение:

$$\Gamma = \frac{U_{отр}}{U_{над}} = \frac{Z_{нагр} - Z_{уст}}{Z_{нагр} + Z_{уст}} \quad (5)$$

$$U_{отр} = \Gamma \times U_{над} \quad (6)$$

Представленные выше формулы описывают процессы, которые протекают в реальных линиях и будут использованы при моделировании полосковых линий в системе LabVIEW.

Проведение компьютерного эксперимента

С помощью программы создадим виртуальную симметричную полосковую линию. Параметры задаем с учетом того, что ширина полоскового проводника не должна быть больше $1/4$ длины волны.

Используем среднюю частоту, на которой работает Wi-Fi модуль - 2450 МГц и волновое сопротивление $Z=50$ Ом.

Выбираем ширину проводника. Зная, что $\nu = 2450$ МГц, значит $\lambda = 0,1223642685714$ м, поэтому выберем $W = 0,000976223$ м.

Для контроля результатов выполним расчет и получим при $\epsilon_r = 12,9$ $b = 0,00764775$ м. Рассчитаем КСВ и Γ . Получаем : $\Gamma = 0,00913265$, $КСВ = 1,01843365$

Проверим как расчеты согласуются с результатами компьютерного моделирования.

Опыт 1. Выбираем $b = 0,00764775$ м.

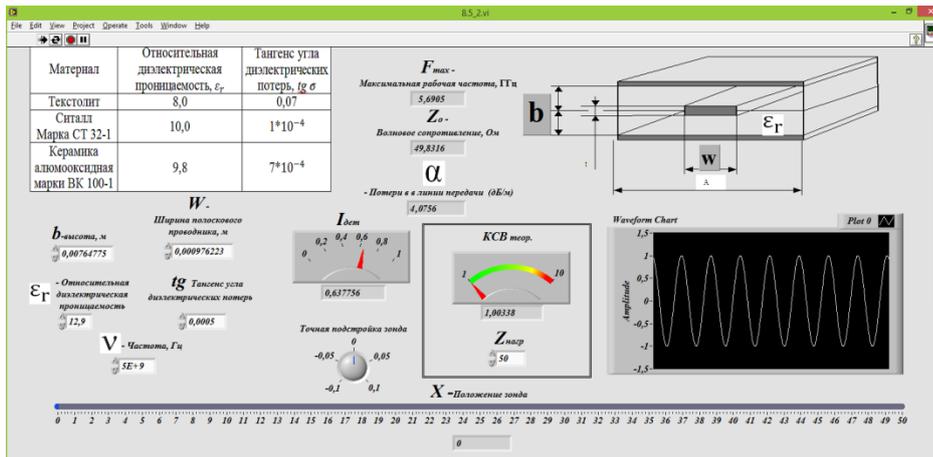


Рисунок 2 - Результат компьютерного моделирования при $Z_{\text{н}} = 50 \text{ Ом}$ и $b = 0,00764775 \text{ м}$

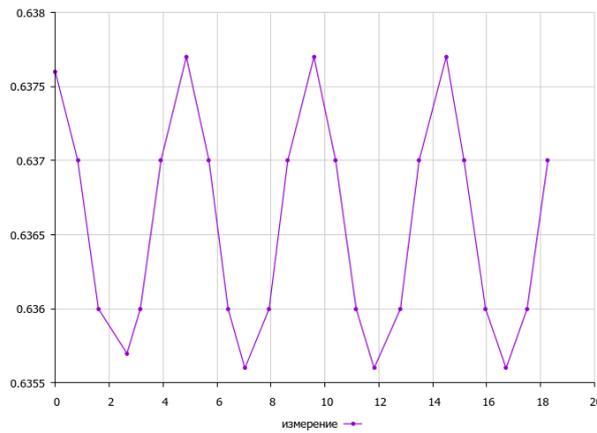


Рисунок 3 – Зависимость силы тока $I_{\text{дет}}$ от координаты X при $Z_{\text{н}} = 50 \text{ Ом}$

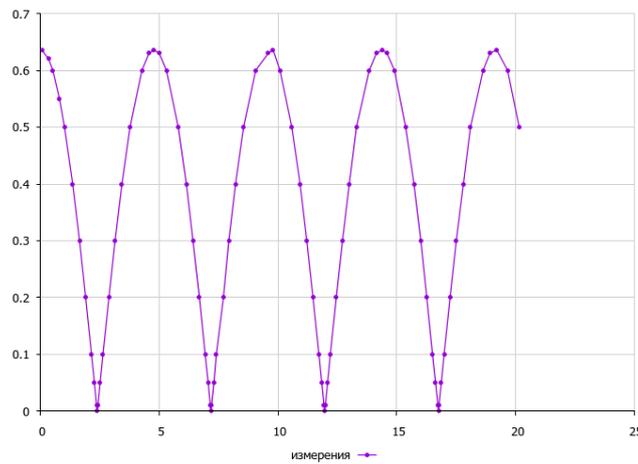


Рисунок 4 – Зависимость силы тока $I_{\text{дет}}$ от координаты X при $Z_{\text{н}} \rightarrow \infty$

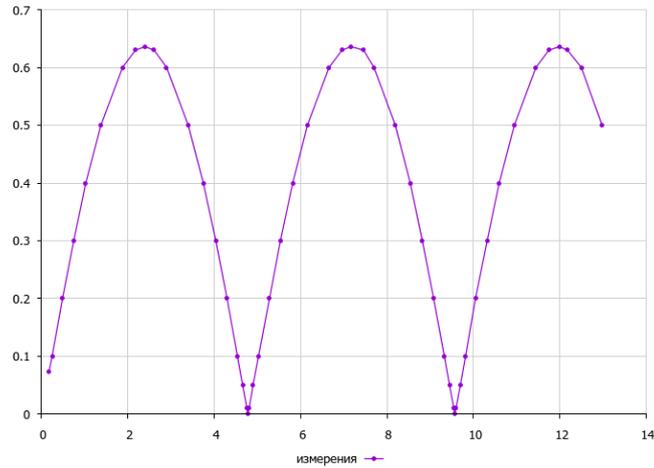


Рисунок 5 - Зависимость силы тока $I_{дет}$ от координаты X при $Z_H \rightarrow 0$

Результаты первого опыта показывают большие потери в линии, поэтому признаем их неудовлетворительными и переходим ко второму опыту.

Опыт 2. Выбираем $b = 0,0244729$ м. В приложении Г показаны результаты в виде графика и таблицы при $Z_H = 50 \text{ Ом}$, в приложении Д — при $Z_H \rightarrow \infty$, в приложении Е — при $Z_H \rightarrow 0$

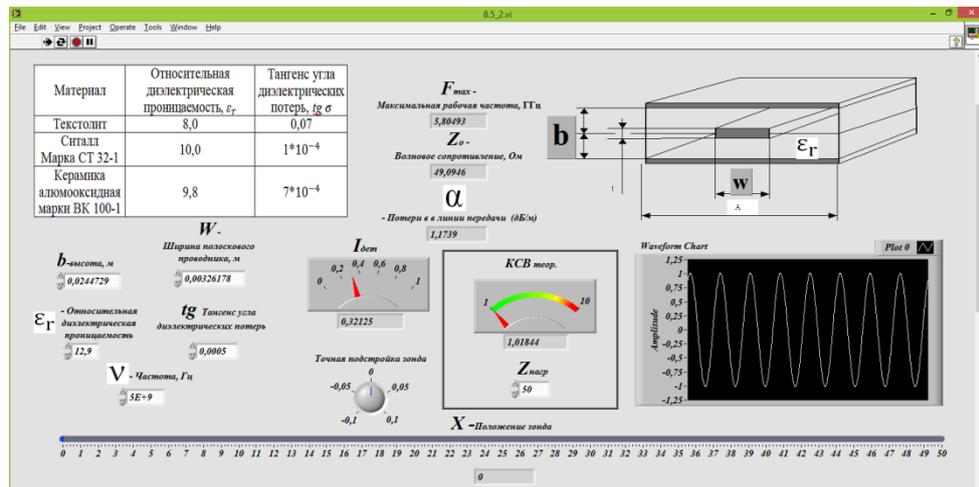


Рисунок 6 - Результат компьютерного моделирования

при $Z_H = 50 \text{ Ом}$ и $b = 0,0244729 \text{ м}$

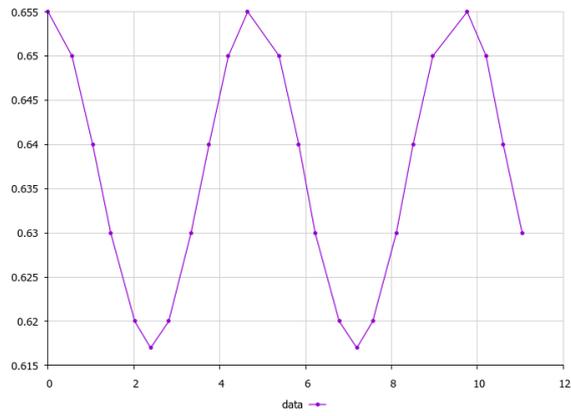


Рисунок 7 – Зависимость силы тока $I_{дет}$ от координаты X при $Z_H = 50 \text{ Ом}$

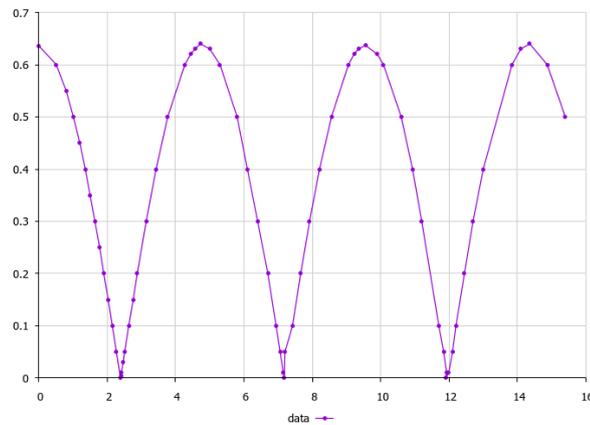


Рисунок 8 – Зависимость силы тока $I_{дет}$ от координаты X при $Z_H \rightarrow \infty$

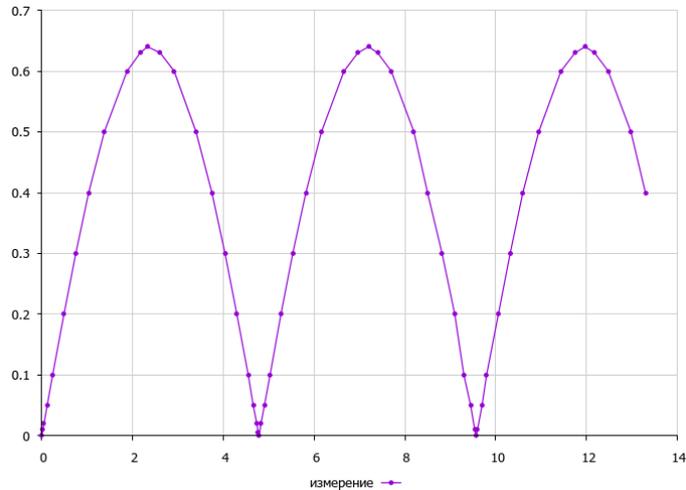


Рисунок 9 – Зависимость силы тока $I_{дет}$ от координаты X при $Z_H \rightarrow 0$

Второй опыт показал, что при заданных параметрах потери в линии не превышают допустимых. Результат эксперимента удовлетворяет допустимым значениям потерь.

Заключение

Целью работы являлась разработка компьютерной программы для определения параметров полосковых линий

Полосковые линии широко используются в технике сверхвысоких частот. Для оптимизации расчетов использовано компьютерное моделирование, так как оно является одним из эффективных методов изучения сложных систем.

В работе рассмотрены основные типы полосковых линий, раскрыты их достоинства и недостатки, выполнен анализ полосковых линий, приведены необходимые формулы.

Подробно описаны симметричные полосковые линии, их конструкция. Симметричные полосковые линии выбраны для моделирования.

Для компьютерного моделирования выбрана программа LabVIEW

Проведена проверка корректности реализации модели. Для данной модели есть некоторые ограничения, так как моделируется только симметричная полосковая линия. Это накладывает некоторые ограничения. Но среда Labview при необходимости позволит смоделировать и микрополосковые линии.

Выполнены необходимые расчеты для проверки результатов компьютерного моделирования и проведен компьютерный эксперимент. Результаты опытов в виде таблиц и графиков представлены в приложениях А,Б,В,Г,Д.

Цель работы достигнута, задачи выполнены

Основные использованные источники

- 1 Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. — М.: Наука, 1989. — 544 с.
- 2 Полосковые линии и устройства сверхвысоких частот [Текст]: учебное пособие по СВЧ / Д. С. Денисов, Б. В. Кондратьев, Н. И. Лесик и др.. — Москва: Радио и связь, 1974. — 276 с.
- 3 Замятина, О.М. Компьютерное моделирование: Учебное пособие. [Текст] / — Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — 121 с.
- 4 Малорацкий, Л.Г. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях [Текст]/ Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р. — Москва: Радио и связь, 1972. — 96 с.
- 5 Конструирование и расчет полосковых устройств [Текст]: Учеб. пособ. для вузов / Под ред. И.С.Ковалева — Москва: Сов.радио, 1974. — 296 с.
- 6 Магда, Ю.С. LabVIEW. Практический курс для инженеров и разработчиков [Текст]/ Ю.С.Магда — Москва: ДМК-Пресс, 2012. — 208 с.
- 7 Максимов, В.Н. Устройства СВЧ. Основы теории и элементы тракта [Текст]: Учебное пособие / В.Н. Максимов — Москва: Радиотехника, 2002. — 72 с.