

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры
(КУДР)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Методические указания к выполнению
лабораторной и самостоятельной работы
по дисциплине «Основы проектирования микроволновых устройств»

1 Введение

От линии передачи зависит скорость и качество передачи сигнала (неравномерность волнового сопротивления приводит к появлению искажений в сигнале). Поэтому согласование сигналов и линий крайне необходимо практически в любом современном цифровом устройстве. И решение этой проблемы возлагается не только на разработчика схемы, но и на конструктора печатной платы. Именно от него зависит, насколько грамотно будут решены все вопросы согласования линий передачи.

Целью настоящей работы является исследование влияния конструктивных параметров линии на ее волновое сопротивление и частотные характеристики.

2 Краткая теория

Одной из важнейших характеристик линии передачи является волновое сопротивление Z_0 . Если линия исправна и ее волновое сопротивление не меняется — сигнал проходит без отражений. Если имеет место обрыв, короткое замыкание или иная неоднородность — сигнал отражается полностью, или частично, причем коэффициент отражения определяется следующим образом:

$$K = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

где Z – волновое сопротивление в точке неоднородности. Для дальнейшего понимания процесса рассмотрим модель линии. Любую линию можно описать в терминах погонных величин: емкости C , индуктивности L , активного сопротивления R и межпроводной проводимости G , как это показано на рисунке 1.

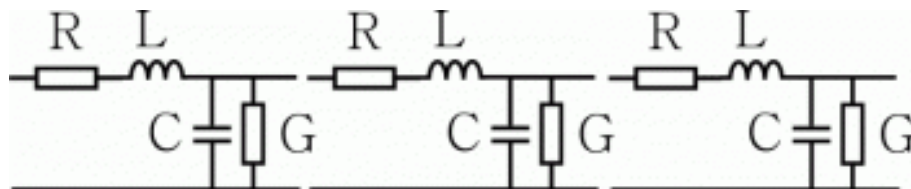


Рисунок 1. – Эквивалентная схема линии передачи

Таким образом, бесконечная линия моделируется бесконечной цепью одинаковых малых кусочков единичной длины, имеющих указанные погонные характеристики.

Известна связь погонных характеристик и волнового сопротивления линии передачи:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

В области высоких частот, наиболее интересной для импульсной рефлектометрии, формулу можно упростить, так как в этой области $R \ll \omega L$ и $G \ll \omega C$:

$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Данные формулы позволяют понять принцип работы импульсного рефлектометра: импульсный рефлектометр не отображает изменения сопротивления шлейфа или сопротивления изоляции. Он обнаруживает и визуализирует наличие отражения от неоднородности волнового сопротивления, причем по характеру отражения можно судить о его природе. Так локальное увеличение индуктивной составляющей приводит к росту волнового сопротивления в этой точке и возникновению отклика положительной полярности, а увеличение емкостной составляющей приводит к уменьшению волнового сопротивления в точке отражения и, соответственно, к образованию отклика отрицательной полярности. В точке обрыва ($R = \infty$) коэффициент отражения $K = 1$, т.е. имеем полное отражение в виде импульса положительной полярности. В точке короткого замыкания ($G = \infty$) $K = -1$ т.е. возникает такое же отражение, только в виде импульса противоположенной полярности. Что же касается амплитуд импульсов, то они зависят не только от коэффициента отражения, но и от ослабления исходного импульса в кабеле на длине, равной расстоянию от источника импульсов до точки отражения и обратно.

В качестве примеров рассмотрим наиболее простые виды линий передачи. Первый пример — это проводник на поверхности печатной платы, под которым расположен сплошной слой «земли» или питания (рисунок 2). Этот так называемая микрополосковая линия, или просто микрополосок.

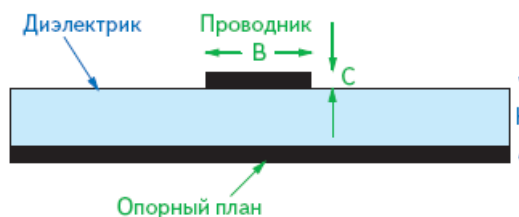


Рисунок 2. – Несимметричная микрополосковая линия

Волновое сопротивление такой линии в омах определяется как:

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \times L_n \frac{5,98H}{0,8B + C}$$

где ϵ_r — диэлектрическая проницаемость материала (около 4,4 для FR4 на 100 МГц),

B — ширина проводника,

C — толщина меди,

H — толщина диэлектрика.

Время распространения сигнала составляет:

$$V = 3,335 \sqrt{0,475\epsilon_r + 0,67} \text{ , [нс/м]}$$

Второй пример — проводник во внутренних слоях платы, расположенный симметрично относительно двух слоев земли (рисунок 3):

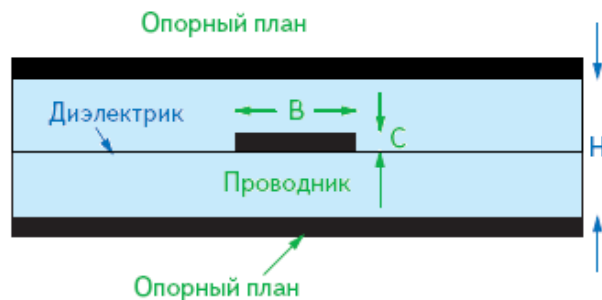


Рисунок 3. – Симметричная микрополосковая линия

Волновое сопротивление такой линии в омах определяется как:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \times L_n \frac{1,9H}{0,8B + C}$$

Время распространения сигнала составляет для симметричного полоска:

$$V = 3,335 \sqrt{\epsilon_r} \text{ , [нс/м]}$$

Такая линия немного медленнее, чем микрополосок, зато гораздо более устойчива к помехам и гораздо меньше склонна к паразитным излучениям, что хорошо для обеспечения ЭМС. Если учесть некоторую паразитную емкостную нагрузку (обычно несколько пФ на вывод), формулу следует скорректировать следующим образом:

$$Z'_0 = \frac{Z_0}{\sqrt{1 + \frac{C_d}{C_0}}}$$

где C_d — сумма всех емкостных нагрузок,

Z_0 — характеристическое сопротивление ненагруженной линии,

C_0 — характеристическая емкость ненагруженной линии

Предпочтительной схемой подключения нагрузок к линии передачи является «одинаковое число нагрузок на единицу длины», в отличие от «подключения всех нагрузок в одну точку». Хотя можно применять и разновидности варьирования геометрических размеров различных сегментов проводника так, чтобы обеспечить одинаковое Z_0 по всей длине линии, даже при подключении нескольких входов в одной точке.

В данной работе для расчета волнового сопротивления линии измеряются погонные первичные параметры линии с помощью измерителя иммитанса E7-21.



Рисунок 4. – Измеритель RLC E7-21

Параметры измеряемые E7-21: индуктивность (L_s , L_p), емкость (C_s , C_p), сопротивление (R_s , R_p), проводимость (G_p), фактор потерь (D), добротность (Q).

Объекты измерения: конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы, резисторы, реле, переключатели, диоды, кабели, входные сопротивления и емкости осциллографов, вольтметров и других приборов. При наличии соответствующих датчиков прибор может измерять различные физические величины.

Использование E7-21: контроль качества ЭРЭ на входном и выходном контроле и при ремонте, контроль и управление технологическими процессами.

Для измерения волнового сопротивления используется векторный импульсный измеритель характеристик цепей P4-И-01. Прибор предназначен для проведения измерений временных, частотных характеристик устройств, а также характеристик нелинейности преобразования сигнала устройством.



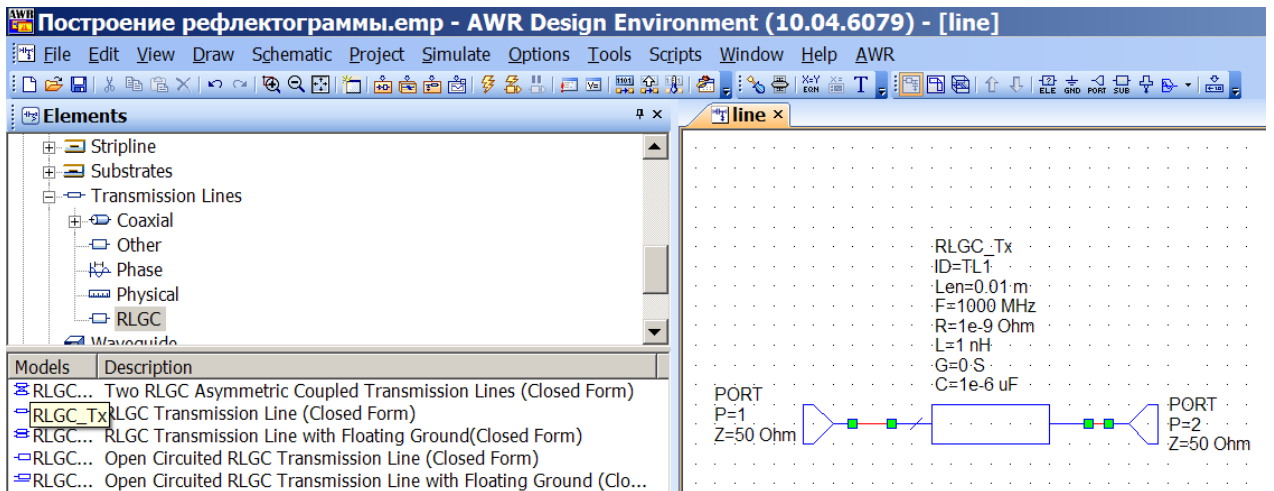
Рисунок 5. – Векторный импульсный измеритель характеристик цепей Р4-И-01

3 Порядок выполнения работы

В ходе данной работы должны быть освоены основы измерения погонных параметров микрополосковой линии передачи и разработана модель данной линии в среде AWR DE.

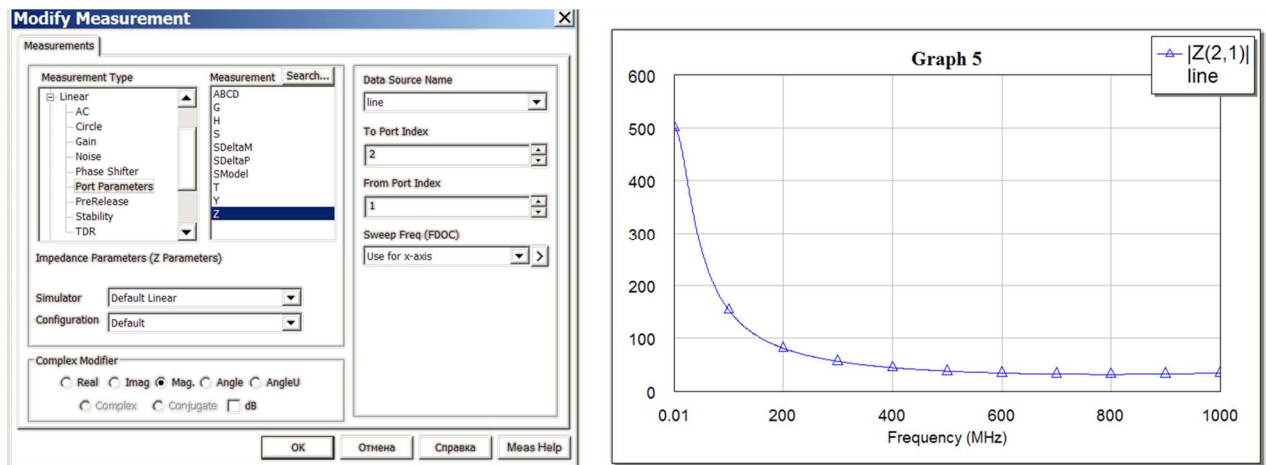
Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- 3.1 Изучите предложенный в п. 2 теоретический материал и руководство пользователя к приборам Е7-21 и Р4-И-01.
- 3.2 Выполните калибровку каждого прибора.
- 3.3 С помощью Р4-И-01 измерьте волновое сопротивление исследуемой линии передачи. Для этого подключите к измерительным портам объект исследования.
- 3.4 Выберите соответствующий режим измерения частотных характеристик для получения графика волнового сопротивления. Настройте масштаб по осям, чтобы график занимал большую часть экрана.
- 3.5 Сохраните результаты измерения в виде текстового файла.
- 3.6 Подключите объект исследования к измерительным щупам прибора Е7-21.
- 3.7 Определите параметры линии – индуктивность, емкость, сопротивление, проводимость на малой, средней и высокой частотах.
- 3.8 Заполните таблицу измерений.
- 3.9 Рассчитайте волновое сопротивление линии. Сравните с измеренным.
- 3.10 Запустите программу AWR DE. Подготовьте схему, представленную на рисунке ниже.



3.11 Введите на схеме измеренные погонные параметры.

3.12 Постройте график зависимости волнового сопротивления от частоты.



3.13 Оформите отчет, содержащий титульный лист и разделы: введение, ход выполнения работы, выводы, ответы на контрольные вопросы.

4 Контрольные вопросы

4.1 Как рассчитать волновое сопротивление линии через погонные параметры?

4.2 Нарисуйте эквивалентную схему линии передачи?

4.3 В чем разница симметричной и несимметричной линии передачи?

4.4 Как волновое сопротивление зависит от длины линии передачи?

4.5 Какие режимы используются при калибровке измерительного прибора?

4.6 Запишите формулу для нахождения комплексного коэффициента отражения от нагрузки.

4.7 Как можно уменьшить габариты линии передачи, сохранив согласование по волновому сопротивлению?