

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Е.И. Тренкаль

КОНСТРУИРОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Методические указания по выполнению
лабораторных работ и самостоятельной работе

Томск
2024

УДК 621.3

ББК 32.850

T663

Рецензент

Бомбизов А.А., доцент кафедры конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры ТУСУР, кандидат технических наук

Тренкаль, Евгений Игоревич

T663 Конструирование быстродействующих цифровых устройств: методические указания по выполнению лабораторных работ и самостоятельной работе / Е.И. Тренкаль. – Томск: гос. ун-т систем упр. и. радиоэлектроники, 2024. – 12 с.

Методические указания предназначены для обеспечения качественного проведения лабораторных занятий и организации самостоятельной работы студентов с целью закрепления знаний, полученных во время лекций и практических занятий; расширения и представления студентов по наиболее актуальным теоретическим и практическим проблемам.

Одобрено на заседании кафедры КУДР, протокол №251 от 18.10.2024

УДК 621.3

ББК 32.850

© Тренкаль Е.И., 2024

© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники, 2024

Оглавление

1 Цели и задачи дисциплины.....	4
1.1 Цели дисциплины	4
1.2 Задачи дисциплины	4
2 Содержание дисциплины.....	5
3 Лабораторные занятия	6
3.1 Лабораторная работа «Неидеальное поведение компонентов: резисторы, конденсаторы, индуктивности»	6
3.2 Лабораторная работа «Исследование линий передачи СВЧ диапазона»	9
3.3 Лабораторная работа «Исследование распространения временных сигналов в неоднородных линиях передачи»	11
4 Методические указания по самостоятельной работе.....	12
5 Дополнительная литература	13

1 Цели и задачи дисциплины

1.1 Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины является обеспечение необходимого уровня компетенций студентов-бакалавров в области конструирования печатных плат для быстродействующей цифровой аппаратуры.

1.2 Задачи дисциплины

1. Рассмотрение электрофизических параметров печатных плат и линий передач в их составе;
2. Изучение методов анализа помех в цифровых узлах быстродействующей аппаратуры;
3. Знакомство со стандартными пакетами автоматизированного проектирования и исследования печатных плат;
4. Получение практических навыков моделирования узлов быстродействующей цифровой аппаратуры.

2 Содержание дисциплины

Названия и содержание разделов (тем) дисциплины:

1. Печатные платы в цифровых системах: тенденции развития электронных средств и проблемы проектирования печатных плат; элементы цифровой обработки информации. Номенклатура и параметры корпусов микросхем; материалы для изготовления печатных узлов;
2. Электрофизические параметры печатного монтажа: полное сопротивление и электрические модели печатного монтажа; сопротивление и его модели; электрическая емкость в печатном монтаже; методы расчета электрической емкости; физические основы индуктивности;
3. Линии передачи в печатном монтаже: линии передачи и их модели; линии передачи с потерями;
4. Обеспечение целостности сигнала в печатном монтаже: целостность сигналов в электронных модулях; целостность сигналов в линиях передачи; неоднородности в линиях передачи; перекрестные помехи в связанных линиях передачи;
5. Проектирование шин питания и заземления: система питания и заземления. Помехи в шине питания и их устранение;
6. Печатные платы и элементы электромагнитной совместимости (ЭМС): ЭМС как показатель качества электронной аппаратуры; помехоэмиссия от печатных узлов; восприимчивость печатных плат; Экранирование печатных плат;
7. Системы автоматизации проектирования (САПР) печатных плат: тенденции развития САПР; решение задач целостности сигнала в САПР; структура и задачи САПР печатных плат; технологические факторы и целостность сигнала.

3 Лабораторные занятия

3.1 Лабораторная работа «Неидеальное поведение компонентов: резисторы, конденсаторы, индуктивности»

Цель работы: получение практических навыков построения моделей электрорадиокомпонентов по экспериментальным характеристикам полного сопротивления.

Порядок выполнения работы:

1. По имеющимся табличным данным (по вариантам) полного сопротивления компонентов (катушки индуктивности, конденсатора, резистора) построить графики частотных зависимостей модуля и аргумента (в градусах) комплексных сопротивлений в диапазоне частот до 10 ГГц;
2. Построить модели компонентов (катушки индуктивности, конденсатора, резистора) на основе эквивалентных схем;
3. Найти параметры эквивалентных схем компонентов, обеспечивающих совпадение расчетных частотных зависимостей с экспериментальными;
4. Защитить отчет, ответить на вопросы преподавателя.

Пример задания:

В файлах ZR.dat, ZL.dat и ZC.dat записаны экспериментальные характеристики полного сопротивления резистора, катушки индуктивности и конденсатора, соответственно.

Формат используемой записи:

$f, \text{Гц}$	$ Z_1 , \text{Ом}$	$\arg(Z_1), {}^\circ$	$ Z_2 , \text{Ом}$	$\arg(Z_2), {}^\circ$	\dots	$ Z_N , \text{Ом}$	$\arg(Z_N), {}^\circ$
----------------	--------------------	-----------------------	--------------------	-----------------------	---------	--------------------	-----------------------

Пример зависимостей полного сопротивления резисторов, конденсаторов и катушек индуктивностей (по вариантам) представлен на рисунке 3.1.

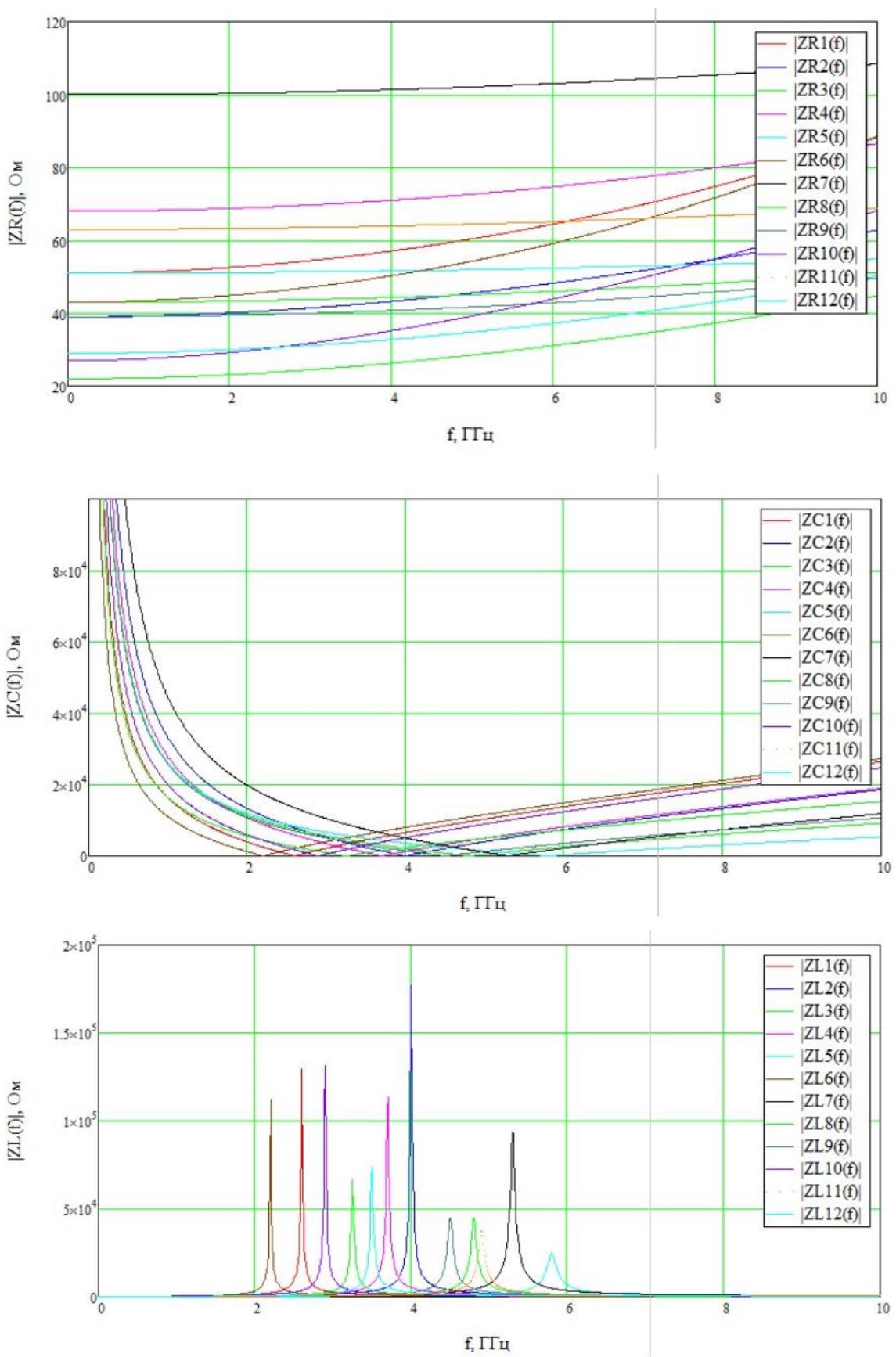


Рисунок 3.1 – Пример зависимостей полного сопротивления резисторов, конденсаторов и катушек индуктивностей

- 1) По имеющимся экспериментальным данным, согласно варианту, построить эквивалентные схемы компонентов;
- 2) Определить значения параметров эквивалентных схем;
- 3) Результаты привести в виде сравнения экспериментального графика и графика, построенного с использованием разработанной модели;
- 4) Выполнить анализ совпадения расчета и эксперимента. Объяснить полученные результаты.

3.2 Лабораторная работа «Исследование линий передачи СВЧ диапазона»

Цель работы: получение практических навыков моделирования линии задержки в САПР, оптимизация таймингов в цифровых схемах.

Порядок выполнения работы:

1. Разработать микрополосковую линию задержки в соответствии с индивидуальным заданием;
2. По завершению проектирования оформить отчет, который должен содержать: цель, основные этапы выполнения работы, выводы по проделанной работе;
3. Защитить отчет, ответить на вопросы преподавателя.

Этапы выполнения работы:

- 1) Определение параметров поперечного сечения и длины микрополосковой линии (МПЛ);
- 2) Расчет частотных характеристик S_{11} , S_{21} и ГВЗ прямолинейного отрезка МПЛ, анализ, внесение корректировок (на основе квазистатических моделей);
- 3) Расчет частотных характеристик S_{11} , S_{21} и ГВЗ прямолинейного отрезка МПЛ, анализ, внесение корректировок (электродинамический анализ);
- 4) Оптимизация геометрии МПЛ для обеспечения требования по максимальным размерам подложки;
- 5) Анализ закономерностей, выводы, разработка рекомендаций по проектированию компактных микрополосковых линий задержки.

Примечание:

- 1) Частотный анализ проводить в полосе частот от 0 до 3 ГГц, шаг по частоте – 100 МГц.
- 2) Все промежуточные результаты должны быть отражены в отчете.

Разработать микрополосковую линию задержки со следующими параметрами:

Пример задания:

Волновое сопротивление линии:	50 Ом;
Задержка:	800 пс;
Допуск задержки:	$\Delta t = \pm 50$ пс;
Затухание в полосе от 0 до 1 ГГц, не более:	0.1 дБ;
Возвратные потери в полосе от 0 до 1 ГГц, не более:	-20 дБ;
Неравномерность ГВЗ в полосе от 0 до 1 ГГц, не более:	50 пс;
Материал подложки:	FR4;
Толщина подложки:	1 мм;

Размеры подложки, не более:

40x40 мм.

3.3 Лабораторная работа «Исследование распространения временных сигналов в неоднородных линиях передачи»

Цель работы: исследование прохождения импульсного сигнала через линию передачи с локальными и распределенными неоднородностями.

Порядок выполнения работы:

1. Разработать модель для временного анализа в соответствии с индивидуальным заданием;
2. По завершению проектирования оформить отчет, который должен содержать: цель, основные этапы выполнения работы, выводы по проделанной работе;
3. Защитить отчет, ответить на вопросы преподавателя.

Этапы выполнения работы:

- 1) Разработка модели линии передачи;
- 2) Определение оптимальных параметров для временного анализа. Проведение временного анализа, построение осциллограмм в разных точках тракта;
- 3) Исследование влияния локальных неоднородностей в тракте (сопротивления, индуктивности, ёмкости) на распространяющийся сигнал. Анализируемые параметры: параметры неоднородностей, длительность сигнала и его фронтов, волновое сопротивление линии;
- 4) Исследование влияния рассогласования и наличия распределенных неоднородностей в тракте на распространяющийся сигнал, а именно: изменение ширины линии, разрыв земли, пересечение земли линией передачи на полигоне земли, переходные отверстия и др.;

Пример задания:

Длительность сигнала:	0,1...5 нс;
Длительность фронтов:	0,05...1 нс;
Ширина линии передачи:	0,1...1 мм;
Материал подложки:	FR4;
Толщина подложки:	1 мм;
Количество неоднородностей в тракте:	1...3.

4 Методические указания по самостоятельной работе

Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом. В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электроннобиблиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научнопопулярные и специализированные материалы по теме дисциплины.

При самостоятельном изучении литературы следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;
- если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;
- осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

При необходимости студенты могут задать интересующие вопросы преподавателям во время консультаций, в том числе с использованием средств телекоммуникаций.

5 Дополнительная литература

1. Калабеков, Б.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы: Учебник для средних специальных учебных заведений связи / Б.А. Калабеков – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 336 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 135 экз.).
2. Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат – Учебник для вузов / Е.В. Пирогова – М.: Форум, М.: Инфра-М, 2005. – 560 с.
3. Кузнецова, С.А. OrCAD 10. Проектирование печатных плат / С.А. Кузнецова, А. В. Нестеренко, А. О. Афанасьев. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 454 с.
4. Певцов, Е.Ф. Проектирование и моделирование аналоговых схем: учебное пособие / Е.Ф. Певцов, В.А. Рогачев. –Москва: РГУ МИРЭА, 2021. – 174 с.
5. Газизов Т.Р. Основы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: Учебное пособие / Т.Р. Газизов. – Томск: Изд-во Томск. гос. унта систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 138 с.