

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики

Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Кафедра систем управления и мехатроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Устройство защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких электромагнитных импульсов

УДК 656.512.4.011.56-049.65:621.374

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т31	Газизов Александр Тальгатович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры СУМ	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Спицын Владислав Владимирович	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Пустовойтова Марина Игоревна	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	Губин Владимир Евгеньевич	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать область их применения
P2	Иметь осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно–технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств.
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно–техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за риски и работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации технологических процессов и производств, чё демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Кафедра систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой СУМ
 _____ Губин В.Е.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
8Т31	Газизов Александр Тальгатович

Тема работы:

Устройство защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких электромагнитных импульсов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является устройство защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких электромагнитных импульсов - асимметричный модальный фильтр с сильной лицевой связью с резистивными нагрузками. Режим работы – непрерывный.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 Описание объекта и метода исследования 2 Исследование резистивных МФ с лицевой и торцевой связью 3 Моделирование резистивного МФ с лицевой связью с учетом потерь в проводниках и диэлектриках 4 Исследование влияния сегментации при моделировании резистивного МФ с лицевой связью 5 Экспериментальное подтверждение разложение СКИ в резистивном МФ 6 Сравнение результатов моделирования и измерения временного отклика резистивного МФ 7 Моделирование МФ без резисторов

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын Владислав Владимирович
Социальная ответственность	Пустовойтова Марина Игоревна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры СУМ	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТЗ1	Газизов Александр Тальгатович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 88 страниц машинописного текста, 19 таблиц, 28 рисунков, 1 список использованных источников из 39 наименований.

Объектом исследования является асимметричный модальный фильтр с сильной лицевой связью.

Цель работы – разработка и совершенствование нового устройства защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких импульсов путем проведения вычислительных и натурных экспериментов при различных параметрах устройства.

В данной выпускной квалификационной работе был разработан прототип устройства защиты оборудования автоматизации от СКИ, проведено экспериментальное подтверждение результатов моделирования его электрических характеристик. Исследован способ уменьшения времени моделирования. Выявлена схема включения устройства, обладающая бóльшим коэффициентом ослабления помехового импульса. Выявлена закономерность в моментах прихода импульсов на выходе устройства, которые не наблюдались ранее.

Результаты данной работы поспособствуют внедрению новых принципов защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких импульсов. Новые устройства, основанные на разработанном прототипе, будут надежными, дешевыми и радиационно-стойкими. Выявленная схема включения устройства в будущем позволит создать более совершенное устройство защиты, ввиду бóльшего коэффициента ослабления и отсутствия в конструкции каких-либо радиоэлектронных компонентов.

Ключевые слова: защита оборудования автоматизации, автоматизированная система в защищенном исполнении, сверхкороткий импульс, модальный фильтр.

Определения

Термин	Определение
АС	Автоматизированная система это - комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса. Термин автоматизированная, в отличие от термина автоматическая подчеркивает сохранение за человеком-оператором некоторых функций, либо наиболее общего, целеполагающего характера, либо не поддающихся автоматизации
АСЗИ	Автоматизированная система в защищенном исполнении - это автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций в соответствии с требованиями стандартов и/или иных нормативных документов по защите информации
ВТ	Вычислительная техника -Совокупность технических и математических средств, методов и приемов, используемых для обучения и ускорения решения трудоемких задач, связанных с обработкой информации, путем частичной или полной автоматизации вычислительного процесса. С помощью вычислительной техники осуществляется сбор, обработка и хранение информации. Основу современных технических средств вычислительной техники составляют электронные вычислительные машины (ЭВМ).
ПС ЭМВ	Преднамеренное силовое электромагнитное воздействие на информацию: несанкционированное воздействие на информацию, осуществляемое путем применения источника электромагнитного поля для наведения (генерирования) в автоматизированных информационных системах электромагнитной энергии с уровнем, вызывающим нарушение нормального функционирования (сбой в работе) технических и программных средств этих систем
Газоразрядник	- устройство, предназначенное для ограничения перенапряжений, возникающее в электрических цепях при коммутации электроустройств, при атмосферных явлениях (в частности грозовой разряд) и др. Обычно состоит из керамической трубки, заполненной инертными газами. В сравнении с другими устройствами защиты от перенапряжений газоразрядники способны рассеивать большую энергию и выдерживать токи до десятков килоампер.
Варистор	- полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление (проводимость) которого нелинейно зависит от приложенного напряжения, то есть обладающий нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой и имеющий два вывода.
TVS диоды	- полупроводниковые диоды, позволяющие ограничивать импульсные всплески перенапряжения, амплитуда которых превышает напряжение лавинного пробоя диода. Эти

	перенапряжения возникают из-за внешних воздействий, таких как: электростатические разряды (ESD), грозовые разряды, подключение индуктивной нагрузки и др.
СКИ	Сверхкороткий импульс – импульс длительностью менее 1 нс.
Модальный фильтр	– это особая пассивная структура, в которых происходит разложение СКИ на импульсы меньшей амплитуды вследствие разной скорости мод сигнала в связанной линии с неоднородным диэлектрическим заполнением.
Fast Ethernet	общее название для набора стандартов передачи данных в компьютерных сетях по технологии Ethernet со скоростью до 100 Мбит/с, в отличие от исходных 10 Мбит/с. Иногда обозначается как 100BASE-X, где X подразумевает варианты реализации (например, 100BASE-TX, 100BASE-FX).
SMA-разъем	(SMA — аббревиатура от англ. sub-miniature version A) — разъем для подключения коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом.

Обозначения и сокращения

Термин	Определение
АС	Автоматизированная система
АСЗИ	Автоматизированная система в защищенном исполнении -
ВТ	Вычислительная техника
ПС ЭМВ	Преднамеренное силовое электромагнитное воздействие
СКИ	Сверхкороткий импульс
МФ	Модальный фильтр
МЛ	Меандровая линия

Содержание

	С.
Введение	12
1. Объект и метод исследования	15
1.1. Объект исследования	15
1.1.1. Модальная фильтрация	15
1.1.2. Печатный МФ	16
1.2. Метод исследования	18
1.2.1. Вычисление матрицы коэффициентов электростатической индукции	20
2. Моделирование резистивных МФ с лицевой и торцевой связью	23
3. Моделирование резистивного МФ с учетом потерь	26
4. Влияние сегментации при моделировании МФ	28
4.1. Параметры МФ	28
4.2. Метод моделирования	29
4.2.1. Вычисление матриц и роль сегментации	29
4.2.2. Моделирование входного воздействия	29
4.3. Результаты	30
4.4. Заключение по разделу	33
5. Измерение и моделирование временного отклика печатных резистивных МФ с лицевой связью	34
5.1. Разработка и изготовление макетов	34
5.2. Методы моделирования и измерения	35
5.2.1. Метод измерения	35
5.3. Результаты моделирования и измерения	36
5.4. Обсуждение результатов	37
5.5. Заключение по разделу	38
6. Выявление безрезистивных печатных структур	39
6.1. Модальный фильтр	39

6.2. Виток меандровой линии	41
6.3. Заключение по разделу	43
7. Исследование временного отклика безрезистивного МФ	44
7.1. Результаты моделирования	44
7.2. Обсуждение результатов	47
7.3. Заключение по разделу	48
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51
8.1. Потенциальные потребители результатов исследования	51
8.2. Анализ конкурентных технических решений	51
8.3. Исследование целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект	52
8.4. SWOT-анализ	54
8.5. Планирование научно-исследовательских работ	55
8.6. Бюджет научно-технического исследования	60
8.6.1. Расчет материальных затрат НТИ	60
8.6.2. Затраты на приобретение специального оборудования	60
8.6.3. Расчет заработной платы	61
8.6.4. Формирование бюджета НТИ	62
8.7. Заключение по разделу	63
9. Социальная ответственность	66
9.1. Производственная безопасность	66
9.1.1. Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света	67
9.1.2. Повышенный уровень шума	70
9.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений; повышенная напряжённость электрического поля	72
9.1.4. Микроклимат	73
9.1.5. Электрический ток (источник: ПК)	74
9.2. Экологическая безопасность	75
9.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	76
	10

9.3.1. Пожарная безопасность	76
9.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
Заключение	80
Список публикаций студента	81
Список используемых источников	85

Введение

Качество функционирования оборудования автоматизации - датчиков, исполнительных устройств и, особенно, вычислительной техники (ВТ) - не только определяет работоспособность отдельного предприятия, но и в ряде случаев может иметь стратегическое значение для отдельного города и даже страны. В связи с этим, в настоящее время обществом все сильнее осознается угроза информационной безопасности ВТ. Наиболее злободневной и массовой является угроза так называемых «хакерских» атак, то есть угроза преднамеренного воздействия на ВТ на программном уровне. Тем не менее, сейчас также серьезно оценивается и другая угроза информационной безопасности ВТ – преднамеренное силовое электромагнитное воздействие (ПС ЭМВ) на ВТ на аппаратном уровне, способное привести к разрушению, уничтожению, искажению, сбою в работе, блокированию доступа к информации, а также к утрате, уничтожению или сбою функционирования носителя информации [1]. Подтверждением актуальности данной темы является стремительное развитие нормативных документов в области электромагнитной совместимости, причем как международных, так и отечественных. В нашей стране проблема ПС ЭМВ впервые законодательно была затронута в 2007 году [2], что послужило хорошим толчком для развития научно-исследовательской деятельности в этой области [3, 4, 5]. В последнее время эта проблема также обсуждается в рамках конкретных областей жизнедеятельности человека. Так, в [6] проблема ПС ЭМВ рассматривается как очевидная угроза для объектов транспортной инфраструктуры, защита от которой требует как новых технических, так и законодательных решений. Согласно документу [7], подписанному председателем Комитета Государственной Думы РФ по энергетике И.Д. Грачевым, реальную угрозу от ПС ЭМВ видят и представители предприятий топливно-энергетического комплекса. По их мнению, неоправданным является полное отсутствие в законодательстве и в нормативных правовых актах необходимой

регламентации вопросов защиты систем информационной инфраструктуры объектов топливно-энергетического комплекса от вмешательства посредством преднамеренных электромагнитных воздействий [7]. Одним из последних шагов в нормативном регулировании проблемы ПС ЭМВ стало утверждение нового национального стандарта [8], устанавливающего требования и положения для средств защиты автоматизированных систем в защищенном исполнении от ПС ЭМВ (вступил в силу на территории РФ с 1 июля 2015 года).

Особого внимания заслуживают сверхширокополосные импульсные воздействия, составными единицами которых являются сверхкороткие импульсы (СКИ). Эти импульсы практически не ослабляются традиционными устройствами защиты, что подтверждается экспериментальными исследованиями. Мощные защитные компоненты (газоразрядники) обладают недостаточным быстродействием, а быстродействующие (варисторы, TVS-диоды) - недостаточной мощностью, делая защиту от мощных СКИ ненадежной, что оставляет нерешенной проблему защиты аппаратуры простыми средствами. В результате современные защитные электронные компоненты либо перегорают от воздействия мощных коротких импульсов с опасно высоким напряжением, либо не успевают срабатывать, и защищаемая аппаратура выходит из строя [5, 10].

На данный момент известны некоторые специализированные промышленные устройства для защиты от СКИ, имеющие крупные габариты и высокую стоимость [11]. Таким образом, важен поиск новых принципов проектирования защиты. Перспективными устройствами являются модальные фильтры (МФ) – пассивные структуры, способные ослаблять СКИ путем его разложения на импульсы меньшей амплитуды за счет различия погонных задержек распространения мод сигнала в связанной линии с неоднородным диэлектрическим заполнением [12]. Существенными достоинствами МФ являются небольшая масса, высокая надежность и радиационная стойкость. Исследованы и разработаны кабельные МФ для сети электропитания [13], а

также печатные МФ для сети Fast Ethernet [14], а также для защиты от разряда молнии [15]. Данная работа представляет собой продолжение работ по исследованию и разработке печатных МФ для защиты оборудования автоматизации от СКИ.

1. Объект и метод исследования

1.1. Объект исследования

1.1.1. Модальная фильтрация

Перед описанием непосредственного объекта исследования опишем суть физического явления, на котором он основан. Основная идея модальной фильтрации заключается в использовании модальных искажений (изменения сигнала за счет разности задержек мод его поперечных волн в многопроводной линии передачи) для защиты. При распространении импульса, возбуждаемого в активном проводнике отрезка линии с неоднородным диэлектрическим заполнением, состоящей из N_{cond} проводников (не считая опорного), он может подвергаться модальным искажениям, вплоть до разложения на N_{cond} импульсов меньшей амплитуды, из-за различия погонных задержек мод в линии [12]. Для полного разложения импульса необходимо выполнение условия

$$t_{\Sigma} < l \cdot \min|\tau_{i+1} - \tau_i|, \quad i = 1, \dots, N_{\text{cond}} - 1,$$

где t_{Σ} – общая длительность импульса по уровню 0, l – длина отрезка; τ_i – погонная задержка i -й моды отрезка. В частном случае $N_{\text{cond}}=2$ это условие сводится к виду

$$t_{\Sigma} < l \cdot |\tau_e - \tau_o|,$$

где τ_e, τ_o – погонные задержки чётной и нечётной мод в отрезке связанных линий.

Таким образом, если в начало отрезка пары связанных проводников между каким-либо из них и опорным проводником подается импульс длительностью меньшей, чем разность задержек мод этого отрезка, то к концу отрезка (между теми же проводниками) могут прийти 2 импульса, причем с амплитудой, в 2 раза меньшей, чем амплитуда импульса в начале отрезка. Установлено, что увеличение электромагнитной связи между проводниками связанной линии приводит к уменьшению амплитуд импульсов разложения.

При этом по частотной характеристике МФ представляет собой фильтр нижних частот и полоса пропускания для полезного сигнала может быть задана параметрами МФ.

1.1.2. Печатный МФ

По мере исследований модального разложения импульсов, исследовались и разрабатывались различные варианты исполнения МФ. Модальное разложение импульсов может происходить в кабеле, либо в печатной плате, соответственно различают кабельные и печатные МФ. МФ могут иметь несколько каскадов, в таком случае эффект разложения усиливается экспоненциально [12] и различают 1-, 2-, 3-каскадные МФ и т.д. В данной работе рассматривается, в основном, однокаскадный печатный асимметричный МФ с сильной лицевой связью. Рассмотрим его поперечное сечение, постоянное по длине (рисунок 1): на подложке толщиной h и диэлектрической проницаемостью ϵ_r специальным образом относительно друг друга расположены три параллельных проводника – активный (А), опорный (R) и пассивный (P). Наличие пассивного проводника, с сильной связью с активным, приводит к разложению входного сигнала на сигналы четной и нечетной мод на выходе. Ширина проводников – w , толщина – t , расстояние между проводниками – s , расстояние от края структуры до проводника – d . Слово «асимметричный» в названии этого МФ указывает на асимметрию опорного проводника относительно активного и пассивного, словосочетание «лицевая связь» описывает взаимное расположение активного и опорного проводников.

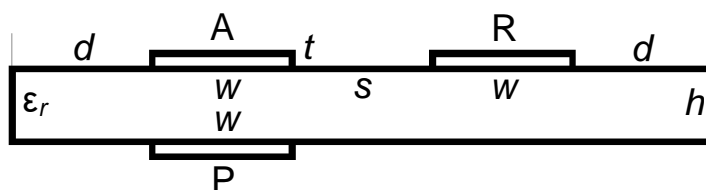


Рисунок 1. Поперечное сечение асимметричного МФ с лицевой связью.

Рассмотрим схему включения МФ, представленную на рисунке 2. Связанная линия с постоянным поперечным сечением (рисунок 1) имеет длину l и полностью описывается матрицами погонных параметров \mathbf{L} , \mathbf{C} , \mathbf{R} , \mathbf{G} , которые будут подробно рассмотрены далее. U_1-U_5 представляют собой узлы для измерения напряжения: U_2 соответствует ближнему концу активного проводника (входу МФ), U_4 – дальнему концу активного проводника (выходу МФ). На схеме присутствует источник ЭДС e , выполняющий роль возбудителя помехового импульса. R_e – сопротивление источника ЭДС. R_L – сопротивление нагрузки. $Rm_{1,2}$ – сопротивления МФ. Указаны концы проводников МФ: А-А – активного; Р-Р – пассивного. Опорный проводник на схеме включения представлен схемной землей.

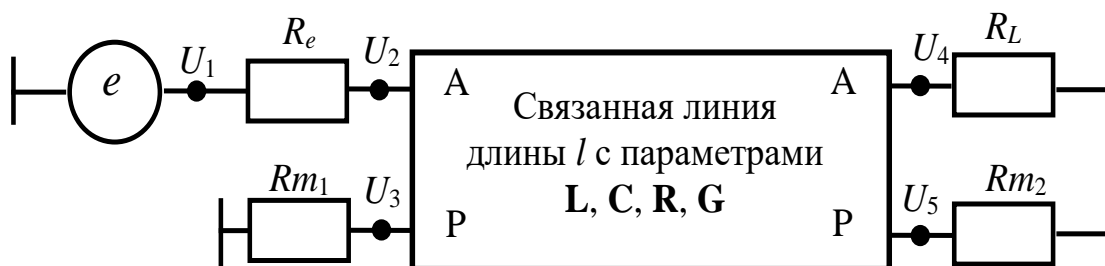


Рисунок 2. Схема включения МФ

Далее в работе, при проведении вычислительных и натуральных экспериментов, если это не оговорено отдельно, в качестве МФ будет использоваться асимметричный МФ с сильной лицевой связью с поперечным сечением с рисунка 1 и со схемой включения с рисунка 2, при этом значения параметров поперечного сечения и схемы включения (l , e , R_e , R_L , $Rm_{1,2}$) будут приводится отдельно.

Важно отметить, что конкретная структура поперечного сечения печатного МФ, исследуемая в данной работе (рисунок 1), является результатом последовательных поисковых исследований МФ в течении десятилетия, очередным этапом которых является и данная работа. На рисунке 3 представлены основные структуры печатных МФ, которые исследовались ранее. МФ, который будет исследоваться в данной работе (рисунок 3д), на

данный момент является наиболее перспективным благодаря наибольшей разности погонных задержек мод (что определяет наибольшую длительность разлагаемых импульсов) и наименьшей амплитуде разложенных импульсов.

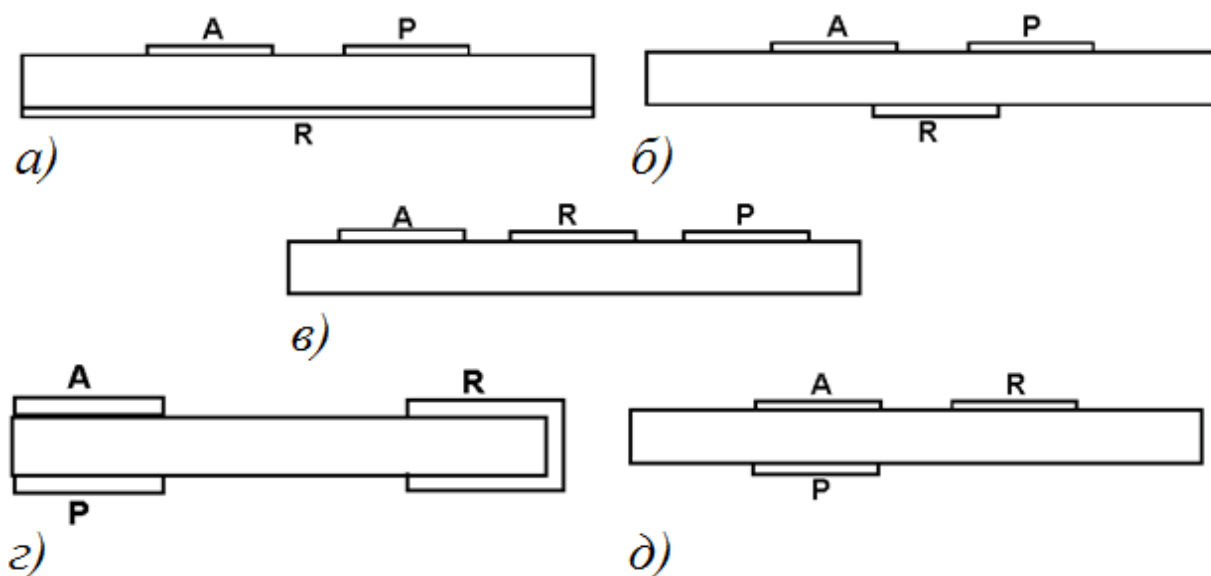


Рисунок 3. Поперечные сечения разных печатных МФ:

а) МФ на основе связанных микрополосковых линий

б) симметричный МФ с торцевой связью

в) симметричный МФ с опорным проводником между активным и пассивным

г) симметричный МФ с лицевой связью

д) асимметричный МФ с лицевой связью

1.2.Метод исследования

В работе будет использовано 3 метода исследования:

- квазистатическое моделирование
- электродинамическое моделирование
- натурный эксперимент

Все методы исследования сводятся к наблюдению разложения СКИ в МФ. Производится получение формы сигнала на выходе МФ (временного отклика МФ) и ее анализ при воздействии СКИ на выходе МФ. Моделирование электрических характеристик произвольных трехмерных

структур с электрически большими размерами часто проводится посредством электродинамического анализа, однако для протяженных по одной координате структур с неизменными параметрами в поперечном сечении более эффективен квазистатический анализ. В частности, он позволяет получить результаты с учетом частотнозависимых потерь в проводниках и диэлектриках. В данной работе основным методом для получения временного отклика является квазистатический анализ, основанный на быстрых и точных математических моделях, внедренных в систему TALGAT [16]. При этом анализе делается упрощающее предположение, что в линиях отсутствуют высшие типы волн и может распространяться только ТЕМ-волна, что позволяет свести уравнения Максвелла к телеграфным уравнениям, решение которых гораздо проще, но весьма точно для большинства практических применений [17]. В системе TALGAT можно анализировать регулярные линии передачи с произвольным поперечным сечением. Отрезок линии передачи, с N_{cond} сигнальными проводниками и одним опорным, на основе заданного поперечного сечения описывается следующими матрицами погонных параметров: электростатической индукции (\mathbf{C}), индуктивности (\mathbf{L}), сопротивления (\mathbf{R}), проводимости (\mathbf{G}). Алгоритм вычисления матрицы \mathbf{C} будет приведен далее. Матрица \mathbf{L} равна произведению магнитной и диэлектрической проницаемостей свободного пространства, умноженному на обращенную матрицу \mathbf{C} , которая вычислена для случая, когда та же геометрия проводников помещена в свободное пространство [17]. Потери в проводниках и диэлектриках определяются соответственно матрицами \mathbf{R} и \mathbf{G} с учетом их частотной зависимости. Элементы матрицы \mathbf{R} вычисляются с учетом скин-эффекта. При моделировании полагается, что на всех частотах у подложки $\epsilon_r=4.5$ и $\text{tg}\delta=0.025$, как на частоте 1 ГГц. Для этих значений вычисляется матрица \mathbf{G} и пересчитывается для других частот.

Задается периодическое воздействие во временной области, выполняется его быстрое преобразование Фурье. Для каждой частоты методом модифицированной узловой матрицы [18] определяется напряжение

в заданном узле. Напряжение во временной области получается с помощью обратного преобразования Фурье.

1.2.1. Вычисление матрицы коэффициентов электростатической индукции

В [19] описана математическая модель для вычисления матрицы коэффициентов электростатической индукции для двумерной конфигурации проводников и диэлектриков с линейными границами, ориентированными ортогонально осям (X и Y) декартовых координат для общего случая с произвольным опорным проводником (конечным или в виде плоскости). Рассмотрим модель для конечного опорного проводника, характерного для рассматриваемого МФ. Эта модель отличается простотой аналитических выражений для элементов матрицы системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), к решению которой сводится вычисление. Поясняющий пример конфигурации изображен на рисунке 4: поперечное сечение регулярной линии передачи (два проводника на диэлектрической подложке) и принцип его сегментации.

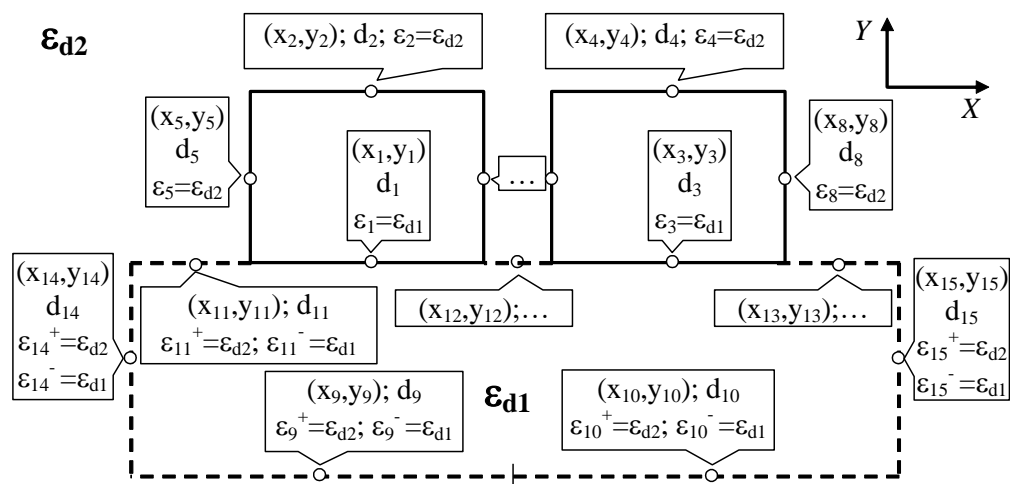


Рисунок 4. Двумерная конфигурация с границами проводник – диэлектрик (сплошная линия), диэлектрик– диэлектрик (штриховая).

Сначала сегментируются (делятся на отрезки, называемые далее подынтервалами) границы проводник – диэлектрик, полученным

подынтервалам присваиваются номера с 1 по Nc . При этом сначала сегментируются и последовательно нумеруются подынтервалы, ортогональные Y (номер последнего – Nc_Y), затем – ортогональные X (номер последнего – Nc). После этого сегментируются границы диэлектрик – диэлектрик, полученным подынтервалам присваиваются номера с $Nc+1$ по N . При этом сначала сегментируются и последовательно нумеруются подынтервалы, ортогональные Y (номер последнего – Nd_Y), затем – ортогональные X (номер последнего – N).

Каждый подынтервал описывается следующими параметрами: x_n – координата X центра n -го подынтервала; y_n – координата Y центра n -го подынтервала; d_n – длина n -го подынтервала; ε_n – диэлектрическая проницаемость около n -го подынтервала проводник – диэлектрик; ε_n^+ и ε_n^- – диэлектрические проницаемости соответственно на положительной (к которой указывает \mathbf{n}_n) и отрицательной (от которой указывает \mathbf{n}_n) сторонах n -го подынтервала диэлектрик – диэлектрик, где \mathbf{n}_n – единичный вектор, проведённый нормально от центра n -го подынтервала. Из них вычисляются элементы матрицы СЛАУ по формулам, приведенным ниже.

Для строк с номерами $m=1, \dots, Nc$

$$S_{mn} = -\frac{I_{mn}}{2\pi\varepsilon_0}, \quad \begin{cases} m=1, \dots, Nc \\ n=1, \dots, N \end{cases}, \quad (1)$$

где

$$I_{mn} = a_1 \cdot \ln(a_1^2 + c_1^2) - 2a_1 + 2c_1 \cdot \arctg\left(\frac{a_1}{c_1}\right) - a_2 \cdot \ln(a_2^2 + c_1^2) + 2a_2 - 2c_1 \cdot \arctg\left(\frac{a_2}{c_1}\right).$$

Здесь для $n=1, \dots, Nc_Y, (Nc + 1), \dots, Nd_Y$

$$a_1 = \frac{d_n}{2} - (x_m - x_n); \quad a_2 = \frac{-d_n}{2} - (x_m - x_n); \quad c_1 = y_m - y_n. \quad (2)$$

Для $n = (Nc_Y + 1), \dots, Nc, (Nd_Y + 1), \dots, N$

$$a_1 = \frac{d_n}{2} - (y_m - y_n); \quad a_2 = \frac{-d_n}{2} - (y_m - y_n); \quad c_1 = x_m - x_n. \quad (3)$$

Для строк с номерами $m=(Nc + 1), \dots, N$

$$S_{mn} = \frac{I_{mn}}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \begin{cases} m=(Nc+1), \dots, N \\ n=1, \dots, N \end{cases}, m \neq n;$$

$$S_{mm} = \frac{I_{mm}}{2\pi\varepsilon_0} + \frac{1}{2\varepsilon_0} \frac{\varepsilon_m^+ + \varepsilon_m^-}{\varepsilon_m^+ - \varepsilon_m^-}, m=(Nc+1), \dots, N,$$

где для строк номерами $m=(Nc+1), \dots, Nd_Y$ для $n=1, \dots, Nc_Y, (Nc+1), \dots, Nd_Y$

$$I_{mn} = \text{arctg} \left(\frac{a_1}{c_1} \right) - \text{arctg} \left(\frac{a_2}{c_1} \right) \quad (4)$$

и переменные совпадают с (2), а для $n=(Nc_Y+1), \dots, Nc, (Nd_Y+1), \dots, N$

$$I_{mn} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{a_2^2 + c_1^2}{a_1^2 + c_1^2} \right), \quad (5)$$

где переменные совпадают с (3). Для строк с номерами $m=(Nd_Y+1), \dots, N$ для $n=1, \dots, Nc_Y, (Nc+1), \dots, Nd_Y$ I_{mn} вычисляется по (5) с переменными (2). Для $n=(Nc_Y+1), \dots, Nc, (Nd_Y+1), \dots, N$ I_{mn} вычисляется по (4), где переменные совпадают с (3).

В рассматриваемом случае (бесконечная земля отсутствует и $(Ncond+1)$ -й проводник заземлен), следуя [20], добавляются $(N+1)$ -я строка и столбец с элементами

$$S_{n \ N+1} = \frac{d_n}{2S_{nn}},$$

$$S_{N+1 \ n} = d_n \varepsilon_n, n=1, \dots, Nc.$$

Теперь формируется СЛАУ

$$\sum_{n=1}^N S_{mn} \sigma_n = \begin{cases} V_i, m=1, \dots, Nc, \\ 0, m=(Nc+1), \dots, N. \end{cases}$$

индекс i обозначает, что каждый элемент дискретизации, принадлежащий i -у проводнику, находится под потенциалом, необходимым для определения матрицы коэффициентов электростатической индукции. Собранные воедино элементы S_{mn} дают квадратную матрицу S , связывающую плотности заряда элементов дискретизации на проводниках и диэлектрических границах, составляющих вектор σ , с потенциалами этих элементов, составляющих вектор V . Таким образом, задача компактно представляется в виде СЛАУ $S\sigma =$

V , которая решается N_{cond} раз, причём в i -м решении потенциал проводника $V_i, i = 1, \dots, N_{\text{cond}}$, равен 1 В, а всех остальных – 0 В. Наконец, из определения элемента ёмкостной матрицы

$$C_{ij} = \sum_{n=NF_i}^{NL_i} \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_0} \sigma_n^{(j)} d_n, \quad i, j = 1, \dots, N_{\text{cond}}.$$

Здесь NF_i и NL_i – номера первого и последнего подынтервалов i -го проводника; i – индекс для проводника, на котором суммируются заряды $\sigma_n^{(j)}$; j – индекс для σ_n , вычисленных при потенциале j -го проводника 1 В, а остальных – 0 В.

2. Моделирование резистивных МФ с лицевой и торцевой связью

В данном разделе представлены результаты исследования разложения СКИ в печатных резистивных МФ в зависимости от взаимного расположения проводников при прочих равных параметрах.

Рассмотрим две структуры печатного МФ: с торцевой и с лицевой электромагнитной связью. Поперечное сечение каждой сравниваемых структур представлено на рисунке 5 и описываются с помощью одинаковых параметров. Толщина подложки $h = 0,5$ мм, ее диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_r = 4$. Ширина проводников $w = 15$ мм, толщина $t = 105$ мкм, расстояние между проводниками и от края структуры до проводника $s = d = 15$ мм.

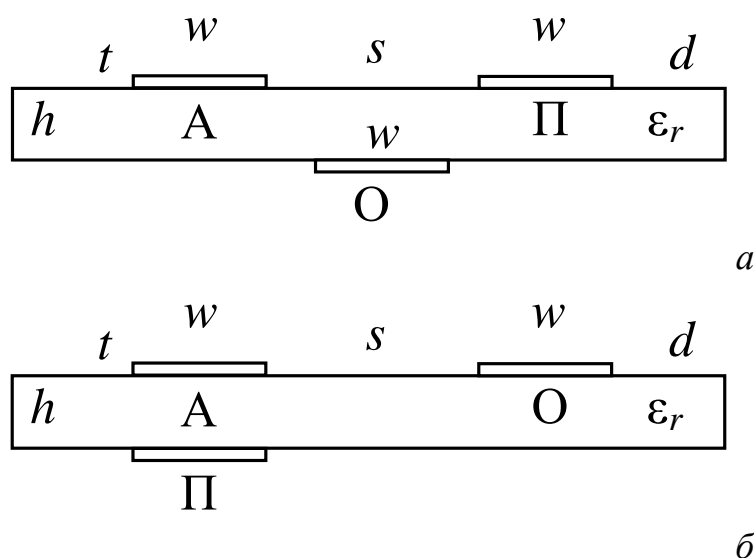


Рисунок 5. Поперечное сечение МФ с торцевой (а) и лицевой (б) электромагнитной связью

$R_e=R_L=R_{m1,2}=R$ – сопротивления, равные среднегеометрическому значению волновых сопротивлений четной и нечетной мод; длина структур $l=0,5$ м для каждого МФ.

Формы сигнала, вычисленные без учета потерь при одинаковых геометрических параметрах для МФ с лицевой и торцевой связью при воздействии импульсного сигнала с длительностями фронтов и плоской вершины по 0,1 нс и амплитудой ЭДС 2 кВ, представлены соответственно на рисунке 6а, б. В начале активного проводника линии амплитуда напряжения равна половине ЭДС (1 кВ). При разложении импульса в МФ с лицевой связью (Рисунок 6а) амплитуда напряжения на дальнем конце активного проводника равна 150 В (коэффициент ослабления – 7), а в МФ с торцевой связью (Рисунок 6б) – 500 В (коэффициент ослабления – 2).

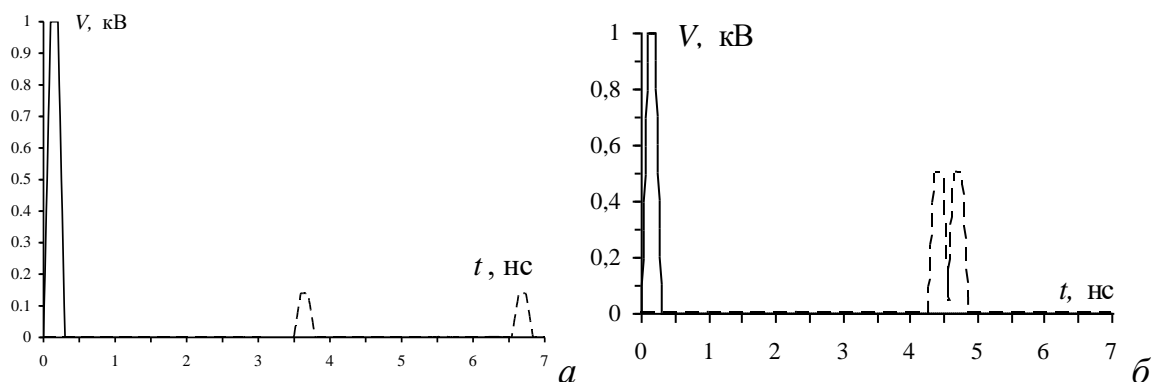


Рисунок 6. Формы напряжения на ближнем (—) и дальнем (---) концах активного проводника МФ с лицевой (*a*) и торцевой (*б*) связью.

Длительность входного СКИ – 0,3 нс.

Формы сигнала при воздействии импульсного сигнала с длительностями фронтов и плоской вершины по 1 нс и амплитудой 2 кВ представлены на рисунке 7. При разложении импульса в МФ с лицевой связью (Рисунок 7*a*) амплитуда напряжения на дальнем конце активного проводника равна 150 В (коэффициент ослабления – 7), а в МФ с торцевой связью (Рисунок 7*б*) – 1000 В (ослабления нет).

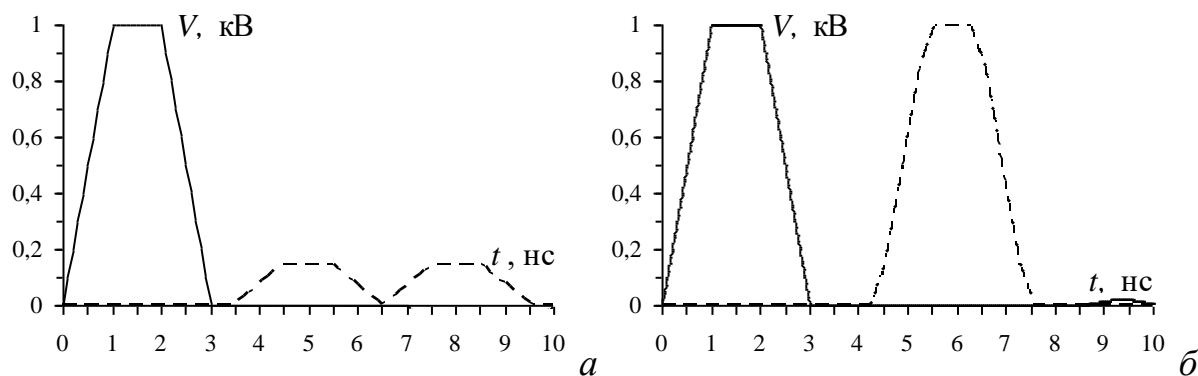


Рисунок 7. Формы напряжения на ближнем (—) и дальнем (---) концах активного проводника МФ с лицевой (*a*) и торцевой (*б*) связью.

Длительность СКИ – 3 нс.

В данном разделе исследовано разложение СКИ в печатном МФ в зависимости от взаимного расположения проводников при прочих равных параметрах на примере МФ с торцевой и лицевой связью. Показано, что

коэффициент ослабления МФ при этом может отличаться в 3,5 раза. Следует отметить, что при рассмотрении МФ с каскадным соединением n пассивных проводников, коэффициент ослабления МФ с рассматриваемым расположением проводников будет отличаться в $(3,5)^n$ раз [12]. Также результаты моделирования показывают, что изменение взаимного расположения проводников печатного МФ может повысить в 10 раз максимальную длительность разлагаемого СКИ. Кроме очевидного преимущества, это может быть использовано для уменьшения длины МФ.

3. Моделирование резистивного МФ с учетом потерь

Потери в проводниках и диэлектриках определяются соответственно матрицами \mathbf{R} и \mathbf{G} с учетом их частотной зависимости. Кроме того, учитывается частотная зависимость комплексной диэлектрической проницаемости используемого материала FR-4 согласно аналитической модели [21]. Элементы матрицы \mathbf{R} вычисляются с учетом скин-эффекта. Все проводники имеют одинаковое поперечное сечение, поэтому диагональные (r) и недиагональные (r_m) элементы матрицы \mathbf{R} связаны выражением

$$r=2r_m,$$

где $r_m=1/(w\sigma t)+r_s/w$, где σ – удельная проводимость меди, w – ширина проводника, $r_s=(\pi f\mu_0/\sigma)^{1/2}$, где f – частота, μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость меди.

Временной отклик МФ вычисляется для поперечного сечения (рисунок 1) с толщиной диэлектрической подложки $h=1,5$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_r=4$ (дешевый и распространенный материал FR-4). Остальные параметры МФ выбраны из практических соображений: расстояние между проводниками $s=5$ мм и ширина проводников $w=5$ мм (МФ должен помещаться в сетевой фильтр); толщина проводников $t=105$ мкм (большая толщина фольги для больших токов); расстояние между краем структуры и проводником $d=w$.

Схема включения МФ представлена на рисунке 2, где e - источник трапециевидных импульсных сигналов с длительностями фронтов и плоской вершины по 1 нс и амплитудой 2 кВ представлен идеальным источником ЭДС; все сопротивления равны среднегеометрическому значению импедансов четной и нечетной мод; длина структуры $l=0.5$ м.

Вычисленная форма сигнала на ближнем (U_2) и дальнем (U_4) концах активного проводника МФ с заданными параметрами с учетом потерь и без них представлена на рисунке 8.

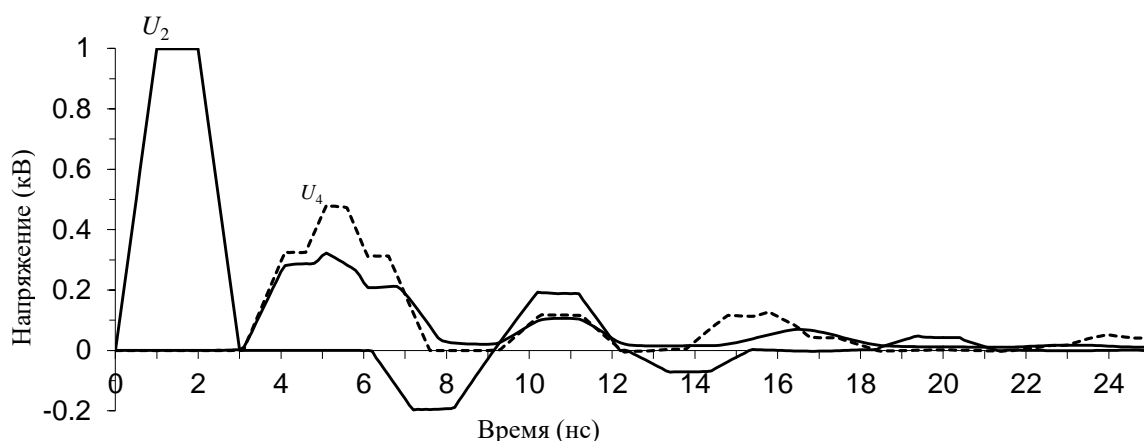


Рисунок 8. Временной отклик МФ с учетом (—) и без учета (- - -) потерь

Видно, что потери в проводниках и диэлектриках с учетом частотной зависимости сильно влияют на амплитуду импульса на выходе МФ. Так, при анализе временного отклика устройства без учета потерь (пунктирная кривая на рисунке 8) может возникнуть неверный вывод о том, что структура с данными геометрическими параметрами не удовлетворяет требованиям разложения опасного помехового импульса, поскольку происходит наложение разложенных импульсов. Моделирование с учетом потерь показывает, что уровень этого наложения в действительности близок к уровню разложенных импульсов, что делает реализацию устройства с данными геометрическими параметрами приемлемой для практики. Тем не менее, на предварительном этапе разработки устройства временной отклик защитных структур моделируется без учета потерь, поскольку это требует гораздо меньших вычислительных затрат. Таким образом, результаты данного раздела могут

быть использованы для корректной оценки предварительного моделирования временного отклика без учета потерь.

4. Влияние сегментации при моделировании МФ

Моделирование защитных устройств с помощью специализированного ПО позволяет проектировать и улучшать эти устройства. Как уже было сказано, для протяженных двумерных структур может использоваться квазистатический анализ, т.к. он позволяет получить быстрые и точные результаты. Однако, даже для этого подхода важна минимизация времени моделирования и она может быть достигнута различными методами, например, внедрением новых алгоритмов [22]. В квазистатическом анализе наиболее затратных в плане вычислений этапом является вычисление матриц погонных параметров структуры. Для их вычисления каждая граница структуры разделяется на меньшие части (сегментируется). При этом важно устанавливать оптимальное значение сегментации, которое приведет к приемлемой точности и не потребует избыточной вычислительной сложности. Недавно подобная проблема была рассмотрена для электродинамического моделирования [23]. Целью данного раздела является исследование характеристик асимметричного модального фильтра с сильной лицевой связью методом квазистатического моделирования при различной сегментации границ структуры, а также сравнение результатов сходимости квазистатического и электродинамического моделирований вместе с результатами эксперимента.

4.1. Параметры МФ

В данном разделе проводится моделирование МФ с параметрами изготовленного прототипа (рисунок 9). Таким образом, будет возможно сравнить результаты моделирования и эксперимента. Значения параметров поперечного сечения: $t=65$ мкм, $w=d=3$ мм, $s=4$ мм, $h=0,18$ мм. При моделировании значение проницаемости предполагается постоянным и

равным $\epsilon_r=4,5$. Для рассматриваемого макета МФ $R_e = R_L = R_{m_{1,2}} = R = 50 \Omega$.
Длина структуры $l=0,2$ м.



Рисунок 9. Изготовленный прототип МФ с SMA соединителями.

4.2. Метод моделирования

4.2.1. Вычисление матриц и роль сегментации

Как было показано в разделе 1.2.1, вычисление матриц \mathbf{L} и \mathbf{C} основано на решении систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Порядок N матрицы коэффициентов этой системы определяется сегментацией, которая задается пользователем в системе TALGAT (рисунок 10). Вычислительная сложность решения СЛАУ прямым методом равна $O(N^3)$. Таким образом, целесообразно рассматривать следующие параметры при моделировании МФ с различной сегментацией: N , время вычислений T , а также главные параметры МФ (разность погонных задержек мод $\Delta\tau$ и форма сигнала на выходе).

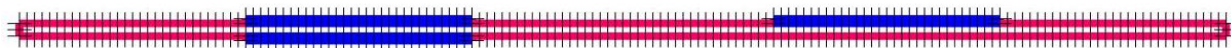


Рисунок 10. Поперечное сечение МФ с визуализированной сегментацией.
(Снимок из рабочей области ПО TALGAT, значение сегментации - 100 μm)

4.2.2. Моделирование входного воздействия

В эксперименте входная форма сигнала приближенно имела форму треугольного импульса с амплитудой 600 мВ (на нагрузке 50 Ом) и длительностью 820 нс (по уровню 0,1). На рисунке 11а представлена форма входного сигнала в эксперименте. Для того, чтобы смоделировать входной сигнал с высокой точностью, производится его дискретизация согласно рисунку 11б и полученные значения задаются как пользовательский источник входного сигнала в системе TALGAT.

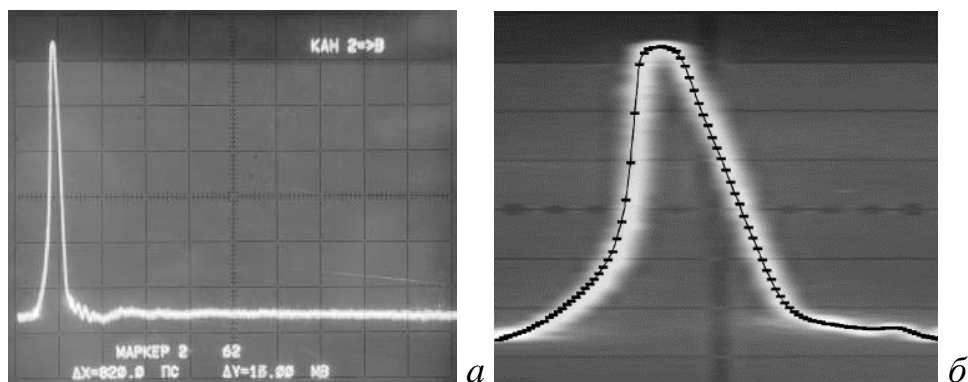


Рисунок 11. Входное воздействие (а), его изображение, увеличенное по горизонтали, и оцифрованная форма с маркерами через 10 пс (б)

4.3. Результаты

Моделирование проводилось для 6 значений сегментации. Длина сегмента начиналась от 100 мкм и далее уменьшалась вдвое каждый раз. Параметры моделирования для различных значений сегментации (*seg*) представлены в таблице 1. Среди параметров: N ; T ; разность погонных задержек $\Delta\tau$ и ее абсолютное отклонение $\delta(\Delta\tau)$ от предыдущего. Мы рассматриваем значение $\delta(\Delta\tau) \approx 5\%$ в качестве приемлемой точности.

Таблица 1. Параметры моделирования в зависимости от сегментации

<i>seg</i> , мкм	N	T , с	$\Delta\tau$, нс/м	$\delta(\Delta\tau)$, %	U_{\max}	$\delta(U_{\max})$, %
100	421	0.164	3.42	-	0.101	-
50	835	0.883	3.18	7.5	0.106	3.9
25	1673	4.631	3.35	5.1	0.104	2.0
12.5	3339	30.893	3.30	1.5	0.105	1.0
6.25	6679	222.7	3.3232	0.7	0.105	0.1
3.125	13360	5674.4	3.3228	0.01	-	-

Рассмотрим таблицу 1. Уменьшение сегментации ведет к увеличению N . Это естественно вызывает резкое увеличение T . Видно, что требуется всего 4.6 с (для сегментации 25 мкм) для достижения желаемого отклонения, что несомненно является преимуществом квазистатического подхода. Также следует отметить, что поведение сходимости $\Delta\tau$ является не монотонным, а колебательным, что показано на рисунке 12.

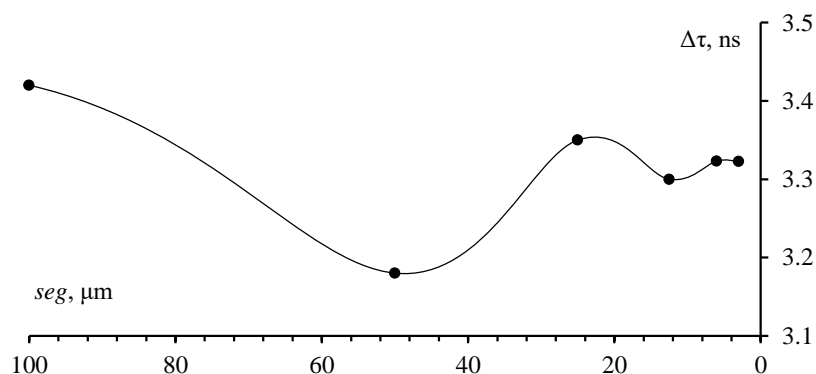


Рисунок 12. Колебательная сходимость вычисленной разности погонных задержек $\Delta\tau$ при уменьшении сегментации

Вычисленные временные отклики МФ на входной сверхкороткий импульс для тех же значений сегментаций представлены на рисунке 13. Уточним связь между выходной формой сигнала и $\Delta\tau$. Согласно модальной теории первые два импульса соответствуют четной и нечетной модам сигнала, в то время как последующие импульсы являются их отражениями. Таким образом мы можем приближенно рассчитать значение разности распространения мод Δt как длительность временного интервала между первыми двумя импульсами: она равна примерно 0,7 нс, как следует из рисунка 13. Разность погонных задержек $\Delta\tau$ вычисляется просто как $\Delta t/l=0,7/0,2=3,5$ нс/м. Таким образом, мы из формы сигнала приближенно получили значение $\Delta\tau$, вычисленное до этого аналитически (Таблица 1). Учитывая это соответствие, при увеличении сегментации, получаемые формы сигнала должны также колебательно сходиться, как и $\Delta\tau$. Рисунок 13 подтверждает это: видно, что вершины импульсов для меньшей сегментации расположены между (а не справа либо слева) импульсами форм сигнала, полученные для другой сегментации.

Из рисунка 13 можно определить максимальный уровень выходного напряжения U_{\max} , который определяет коэффициент подавления МФ. Значения U_{\max} , полученные из вычисленных форм сигнала (из уровня вершины первого импульса), а также и значения их отклонений $\delta(U_{\max})$ включены в таблицу 1. Можно увидеть, что желаемая точность достигается при первом же

вычисления $\delta(U_{\max})$ с сегментацией 50 мкм и временем вычисления 0,9 с. Рисунок 13 также позволяет заключить, что увеличение сегментации незначительно влияет на форму импульсов, которые соответствуют четной моде (второй и пятый импульсы). Этот факт можно использовать в случае таких параметров МФ, когда максимальное выходной напряжение определяется этой «нечувствительной» модой. В этом случае, время вычисления может быть сильно уменьшено выбором наиболее грубой сегментации.

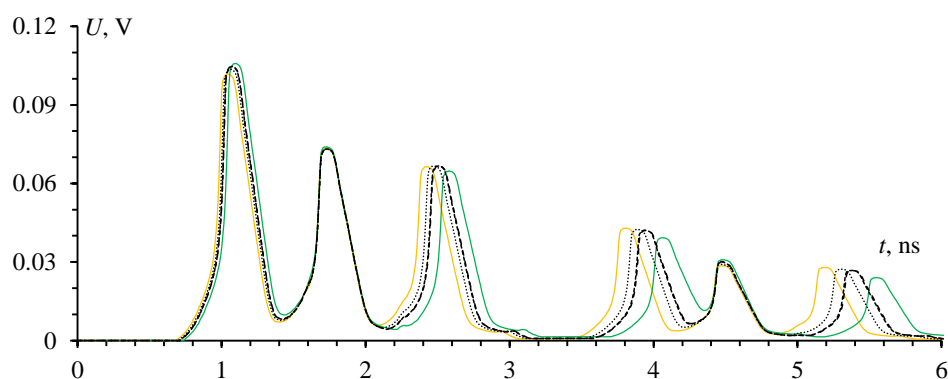


Рисунок 13. Вычисленные формы сигнала на дальнем конце активного проводника МФ при различной сегментации 100 (—); 50 (—); 25 (····); 12,5 и 6,25 мкм (- - -)

Для завершенности исследования, подтвердим результаты квазистатического моделирования экспериментом и электродинамическим моделированием в CST MWS с заданием сетки до сходимости. Соответствующие формы сигнала представлены на рисунке 14. Сравнивая формы сигнала, полученные в CST и TALGAT, видно, что электродинамический и квазистатический анализы дают одинаковую форму сигналов и моменты прихода импульсов. Разница в уровнях импульсов вызвана разным учетом потерь. Однако квазистатическое моделирование в TALGAT дало форму сигнала, более близкую к результатам эксперимента, чем моделирование в CST. В то же время, моделирование в TALGAT заняло только 4,6 с, в то время как в CST – 4,5 ч. Несоответствие между результатами моделирования и эксперимента может быть вызвано меньшим значением ϵ_r ,

реальной диэлектрической подложки МФ по сравнению заданной при моделировании. Кроме того, неоднородности соединителей и их посадочных мест никак не учитываются в моделировании.

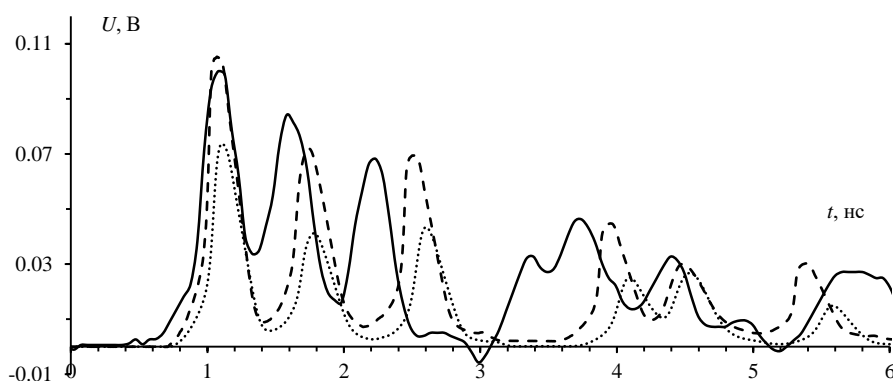


Рисунок 14. Формы сигнала на дальнем конце активного проводника МФ, полученные в эксперименте (—), в TALGAT (- - -) и в CST (⋯⋯)

4.4. Заключение по разделу

В данном разделе проведено квазистатическое моделирование реального прототипа асимметричного модального фильтра с сильной лицевой связью для различных значений сегментации границ структуры. Были вычислены основные электрические характеристики МФ и выявлено поведение их сходимости при уменьшении значения сегментации. Было проведено сравнение временной отклика МФ, полученного при квазистатическом анализе, с откликом, полученным при электродинамическим анализе и эксперименте. Для электродинамического анализа было показано, что значение максимального выходного напряжения может быть получено с приемлемой точностью при задании грубой сегментации в 50 мкс, что потребует 0,9 с для вычисления. Другая характеристика МФ – разность погонных задержек, может быть получена с приемлемой точностью при сегментации 25 мкм, что потребует 4,6 с для вычисления. В то же время, вычисления с использованием электродинамического анализа заняли 4,5 ч и показали худшую корреляцию с экспериментом.

В данном разделе был исследован способ достижения короткого времени моделирования, что особенно важно в задачах оптимизации по многим параметрам в широком диапазоне значений, т.к. они требуют большого числа моделирований. Результаты данного раздела применимы к классу устройств, основанных связанных линиях, предназначенных для защиты оборудования автоматизации.

5. Измерение и моделирование временного отклика МФ

В данном разделе будут представлены результаты экспериментальных исследований распространения СКИ в асимметричном МФ с лицевой связью при различных параметрах поперечного сечения, а также будут сравнены результаты эксперимента и моделирования при точной имитации формы реального воздействия в моделировании.

5.1. Разработка и изготовление макетов

Диапазон геометрических параметров для макетов МФ выбран исходя из требований миниатюризации, экономической целесообразности и максимального пропускаемого тока. Из соображений дешевизны и общедоступности использован двусторонний фольгированный стеклотекстолит с параметрами $h=0,18$ мм, $t=65$ мкм. С помощью генетических алгоритмов посредством компьютерного моделирования в системе TALGAT найдены оптимальные значения (по критерию максимальной разности погонных задержек мод) параметров $s=3$ мм и $w=d=4$ мм для МФ, включенного в тракт с волновым сопротивлением 50 Ом. Значения сопротивлений МФ $R_{m1}=R_{m2}=50$ Ом выбраны для минимизации отражений. Для грубой оценки чувствительности временного отклика к отклонению от оптимальных параметров проводников изготовлены дополнительные макеты. Длина каждого макета $l=0,2$ м. К входам и выходам каждого из макетов для стыковки с измерительными устройствами припаяны SMA разъемы. Для удобства каждому макету присвоен порядковый номер:

1. Макет МФ с $w=3$ мм, $s=4$ мм.
2. Макет МФ с $w=3$ мм, $s=1$ мм.
3. Макет МФ с $w=2$ мм, $s=1$ мм.

Фотография и фотошаблоны изготовленных макетов приведены на рисунках 15 и 16 соответственно.

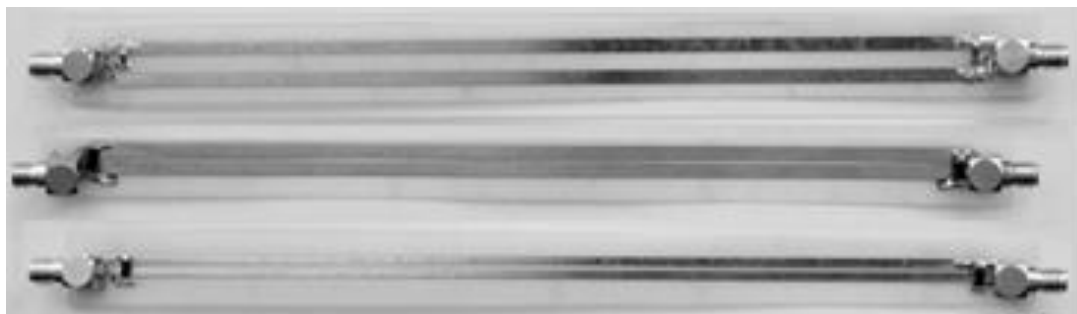


Рисунок 15. Фотография изготовленных макетов МФ

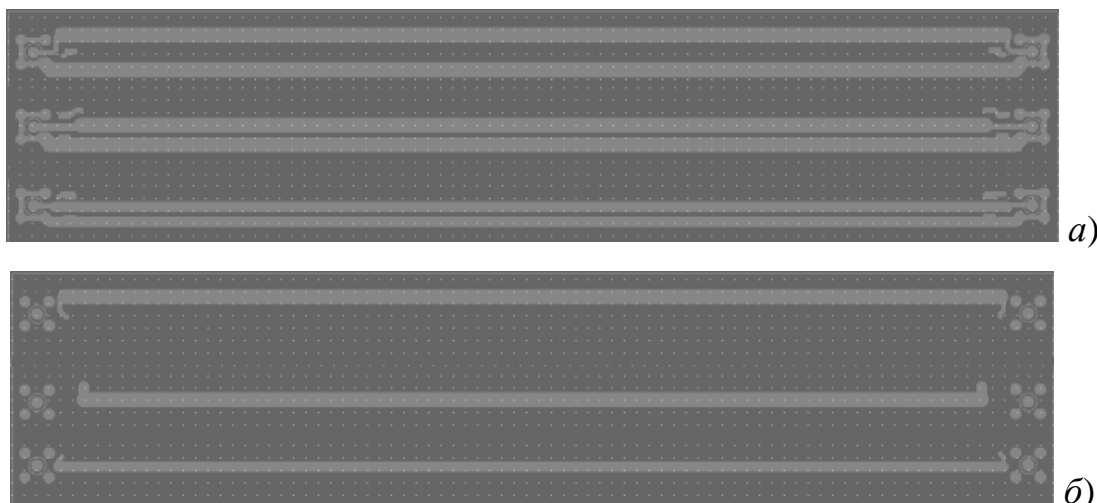


Рисунок 16. Фотошаблоны стороны А (а) и Б (б) платы с МФ

5.2. Методы моделирования и измерения

5.2.1. Метод измерения

Измерения временного отклика проведены с помощью осциллографа вычислительного комбинированного С9-11, представляющего собой сочетание сверхширокополосного стробоскопического осциллографа, генератора измерительных сигналов нано- и пикосекундной длительности, внутренней микро-ЭВМ. В качестве входного воздействия подавался импульс амплитудой 600 мВ (на нагрузке 50 Ом) длительностью 820 пс (по уровню 0,1),

представленный на рисунке 11а. Для моделирования этот сигнал оцифрован и задан в качестве входного воздействия в системе TALGAT (Рисунок 11б).

5.3. Результаты моделирования и измерения

На рисунке 17 представлены временные отклики макетов, полученные при моделировании и эксперименте. Количественные характеристики приведены в таблице 2.

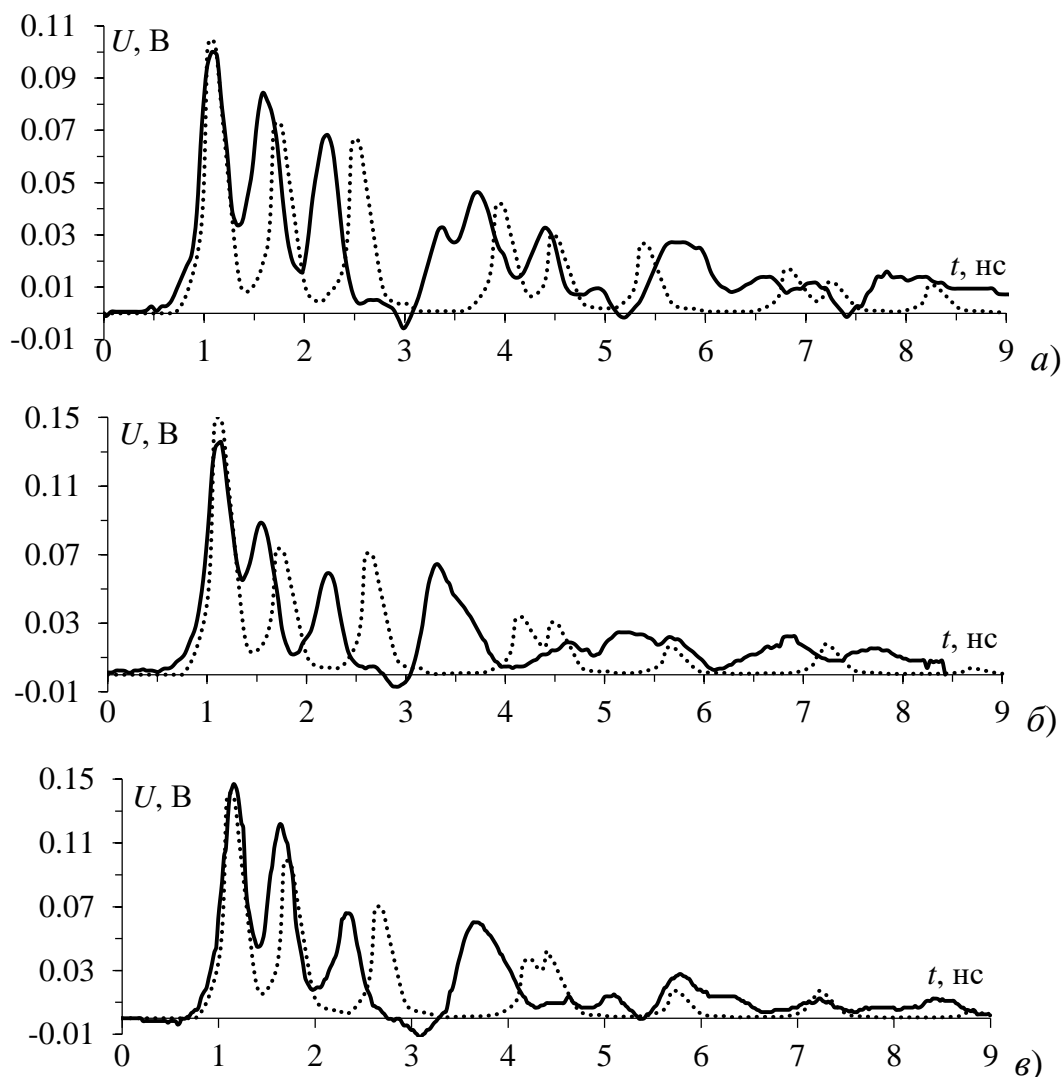


Рисунок 17. Результаты измерения (—) и моделирования (.....) временного отклика на выходе макетов 1–3 (а–в)

Таблица 2. Количественное сравнение результатов моделирования (М) и эксперимента (Э), $\Delta = |(X_M - X_E) / (X_M + X_E)| \cdot 100\%$

№ макета	Пиковое значение первого импульса, мВ			Пиковое значение второго импульса, мВ			Разность задержек по пиковым значениям, нс		
	М	Э	$\Delta, \%$	М	Э	$\Delta, \%$	М	Э	$\Delta, \%$
1	100	113	6.1	65	90	16.1	0.72	0.6	9.1
2	143	145	0.7	72	95	13.8	0.67	0.6	5.5
3	145	153	2.7	97	120	10.6	0.69	0.6	7.0

5.4. Обсуждение результатов

Рассмотрим результаты для каждого макета. Макет 1 является МФ с оптимальными параметрами и обеспечивает ослабление входного импульса примерно в 5 раз. Из рисунка 17а видно, что сигнал на выходе представляет собой последовательность импульсов. Первый из них – импульс четной моды, второй – нечетной, а последующие – их отражения (от конца и начала линии), приходящие через 3, 5, ... задержек в линии. Таким образом, подтверждается эффект модального разложения, позволяющий уменьшить амплитуду выходного сигнала. Макет 2 имеет меньшее расстояние между активным и опорным проводниками в сравнении с макетом 1, а макет 3 имеет по сравнению с макетом 2 меньшую ширину проводников. Как видно, модальное разложение импульсов остается, но ослабление ухудшается примерно в 1,5 раза. Это объяснимо уменьшением связи между активным и пассивным проводниками, приводящим к увеличению амплитуд на выходе.

Согласно полученным результатам (рисунок 17 и таблица 2) для всех макетов можно отметить следующее. При моделировании временного отклика амплитуда импульсов на выходе МФ меньше, а разность задержек мод сигнала больше, чем при измерении. На полученных временных откликах (рисунок 17) несовпадение разности погонных задержек отражается в запаздывании моделируемого временного отклика относительно экспериментального. Одной из причин такого несоответствия может быть несоответствие используемого при моделировании значения ϵ_r подложки реальному. Если значение ϵ_r реальной подложки меньше, то это объясняет меньшую разность задержек импульсов в эксперименте. Это, в свою очередь, ведет к наложению

заднего фронта первого импульса и переднего фронта второго импульса, в результате чего увеличивается амплитуда последнего. Поэтому получается большее отклонение по напряжению между экспериментом и моделированием для второго импульса, чем для первого (как видно из таблицы 2). Различие результатов моделирования и эксперимента связано и с тем, что реальные размеры МФ несколько отличаются от используемых при моделировании. Кроме того, неизбежно влияние (неучтенное при моделировании) неоднородностей, вносимых SMA-соединителями и их посадочными местами на входе и выходе МФ, а также паразитных параметров резисторов, их переходных отверстий и посадочных мест. Наконец, необходимо учесть, что предел допускаемой погрешности измерений по времени для осциллографа С9-11 составляет 7,5%. Таким образом, можно считать результаты измерения и моделирования согласующимися, а причины различий выявленными.

5.5. Заключение по разделу

Впервые выполнено экспериментальное исследование временного отклика асимметричного МФ с лицевой связью на импульс длительностью около 1 нс с его последующим моделированием при точной имитации формы реального импульса. Последнее дало существенный вклад в согласованность результатов эксперимента и моделирования. Однако сравнение выявило и необходимость более точного учета параметров реального диэлектрика при моделировании. При максимальной связи и оптимальных параметрах модального фильтра для тракта 50 Ом, получено ослабление в 5 раз. Между тем можно полагать, что более точный учет потерь в проводниках и диэлектрике и их использование для выравнивания амплитуд импульсов четной и нечетной мод позволят существенно увеличить ослабление.

6. Выявление безрезистивных печатных структур

Важно исследовать структуры без резисторов, поскольку это может уменьшить стоимость устройства, т.к. оно будет представлять собой тонкую пластинку фольгированного стеклотекстолита, которая может разлагать опасные импульсы.

6.1. Модальный фильтр

Рассмотрим МФ со следующими параметрами: расстояние между проводниками $s=15$ мм; ширина проводников $w=15$ мм; толщина диэлектрика $h=0,5$ мм; толщина проводников $t=105$ $\mu\text{м}$; расстояние от края структуры до проводника $d=w$, диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r=4$. Параметры источника e : длительности фронтов и плоской вершины по 1 нс, амплитуда – 2 кВ.

В общем предполагалось, что амплитуды разложенных импульсов минимальны, когда все сопротивления равны среднегеометрическому импедансов четной и нечетной мод («согласованный» случай) [24]. Это условие делает амплитуды равными и также уменьшает отражения. В этом случае $R_e = R_L = R_{m1,2} = R = 36,515$ Ом. Выходная форма сигнала МФ для «согласованного» случая показана на рисунке 18. Максимальная амплитуда равна 0.14 кВ и коэффициент ослабления равен 7 (относительно 1 кВ).

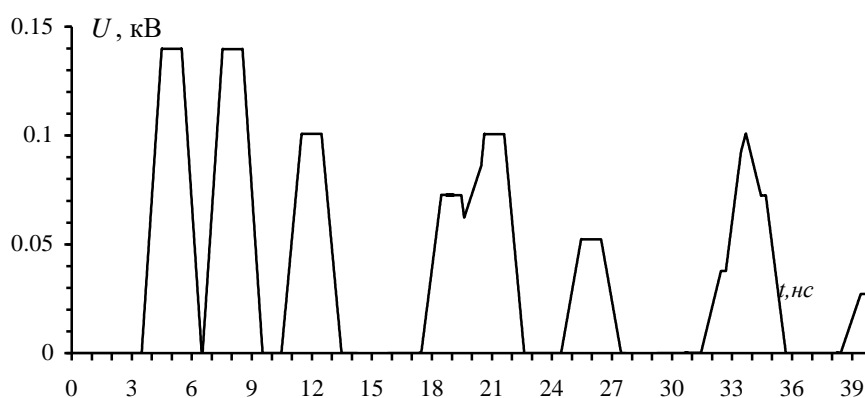


Рисунок 18. Форма сигнала на выходе МФ для «согласованного случая»

Для того чтобы смоделировать МФ без резисторов, сопротивления R_{m1} и R_{m2} должны иметь предельные значения, соответствующие режимам

холостого хода и короткого замыкания. Формы сигнала на выходе МФ были вычислены для различных комбинаций предельных значений Rm_1 и Rm_2 . Наивысший коэффициент ослабления был получен в случае, когда один из резисторов моделировал режим холостого хода, а другой – короткого замыкания. Было также получено, что порядок резисторов не влияет на форму сигнала. Форма сигнала на выходе МФ при $Rm_1 = 1000R$ и $Rm_2 = 0,001R$ показана на рисунке 19. Полученная форма сигнала показывает, что максимальная амплитуда равна 0,084 кВ и коэффициент ослабления равен 12.

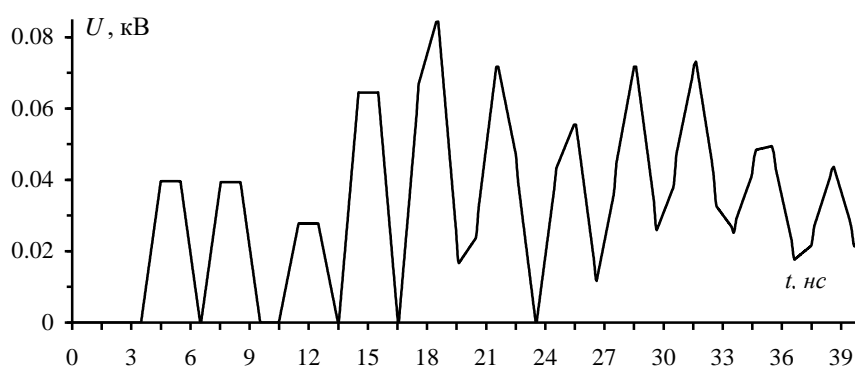


Рисунок 19. Форма сигнала на выходе МФ без резисторов

Стоит отметить, что на рисунке 19 максимальная амплитуда определяется не первыми двумя импульсами, как на рисунке 18, а пятым импульсом. Также можно увидеть, что пятый импульс на рисунке 19 является суперпозицией двух импульсов, поэтому его амплитуда может быть уменьшена изменением параметров структуры. Например, можно увеличить длину МФ, чтобы увеличить временной промежуток между импульсами. Форма сигнала на выходе МФ с увеличенной длиной ($l=2,5$ м) показана на рисунке 20. Заметим, что амплитуда пятого импульса (максимальная амплитуда) уменьшилась до 0,062 кВ (коэффициент ослабления увеличился до 16), потому что пятый импульс теперь является неполной суперпозицией двух импульсов.

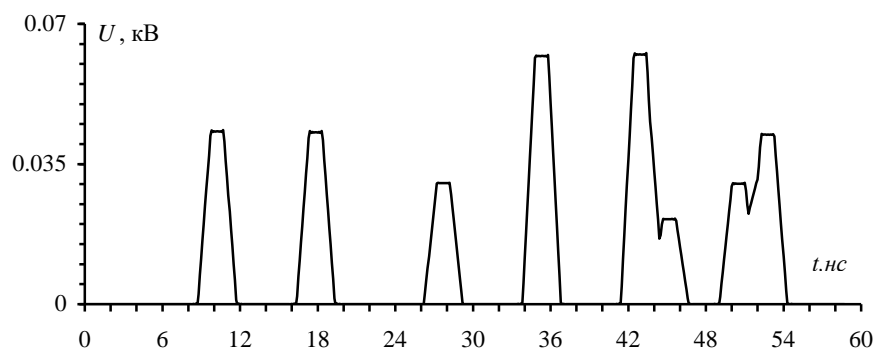


Рисунок 20. Форма сигнала на выходе МФ ($l=2.5$ м) без резисторов

Тем не менее, максимальная амплитуда может быть уменьшена далее путем увеличения значения ϵ_r , которое в предыдущем случае было равно 4, исходя из материала диэлектрической подложки (дешевый и распространенный FR-4). Форма сигнала на выходе МФ с увеличенными значениями l и ϵ_r представлена на рисунке 21. Можно увидеть, что максимальная амплитуда уменьшилась до 0,05 кВ (коэффициент ослабления увеличился до 20).

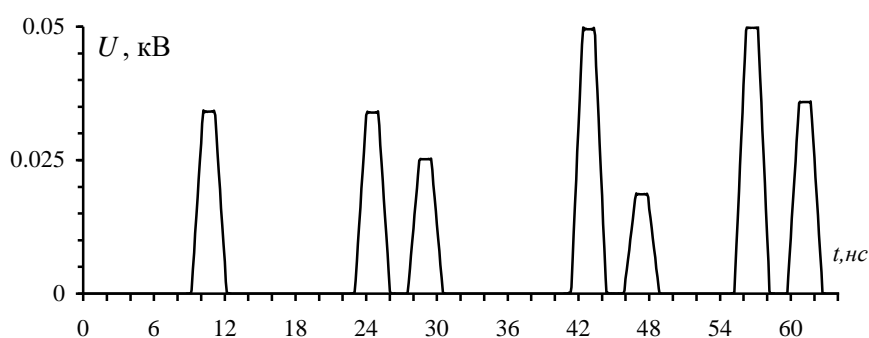


Рисунок 21. Форма сигнала на выходе МФ ($l=2.5$ м, $\epsilon_r=8$) без резисторов

6.2. Виток меандровой линии

Рассмотрим структуру, имеющую то же поперечное сечение (рисунок 1), но другую схему включения, которая показана на рисунке 22. По существу, это виток меандровой линии (МЛ), но здесь он представляет другой подход к защите от СКИ. Выход этой структуры соответствует узлу U_3 .

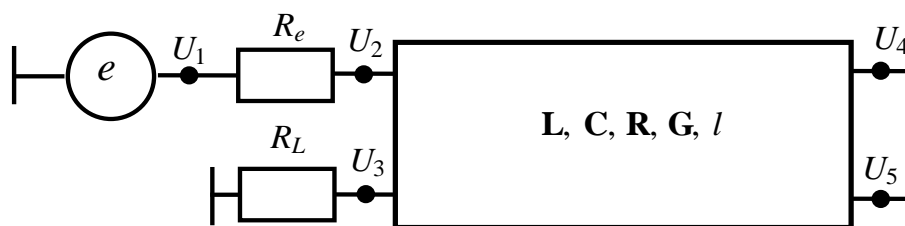


Рисунок 22. Схема включения МЛ

Форма сигнала на выходе МЛ с первичными параметрами поперечного сечения ($s=15$ мм, $h=0.5$ мм, $\epsilon_r=4$, $l=1$ м) показана на рисунке 23.

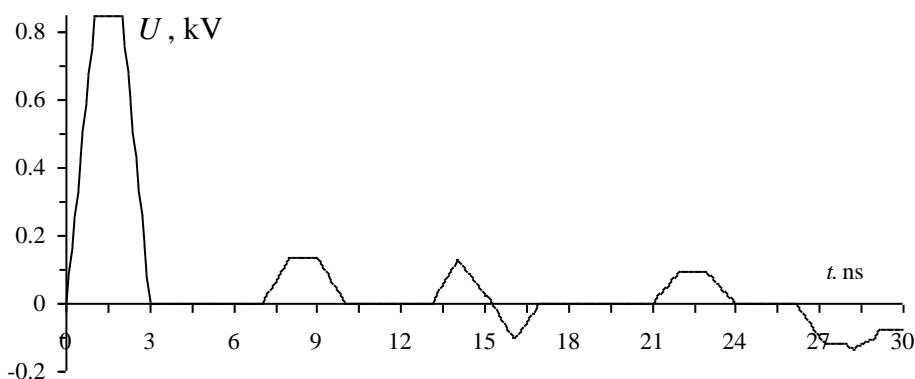


Рисунок 23. Форма сигнала на выходе МЛ ($s=15$ мм, $h=0,5$ мм, $\epsilon_r=4$, $l=1$ м)

Полученная форма сигнала является суммой самого сигнала, прошедшего вдоль первого и второго полувитков МЛ, и перекрестной помехи от возрастания и убывания сигнала на входе МЛ. Первичные значения s и h обуславливают сильную связь и поэтому максимальная амплитуда на выходе (0,85 кВ) близка к амплитуда входного сигнала (1 кВ). Для того чтобы уменьшить связь, можно увеличить значение h и уменьшить значение s . Для примера, сигнал на выходе МЛ с измененными параметрами ($s=1$ мм, $h=6$ мм) показан на рисунке 24. Несмотря на то, что уменьшение связи ведет к уменьшению амплитуды перекрестной помехи, оно также ведет к увеличению амплитуды задержанных импульсов. Оптимальный случай, когда эти амплитуды равны, представлен на рисунке 24. В этом случае максимальная амплитуда равна 0,4 кВ и коэффициент ослабления равен 2,5.

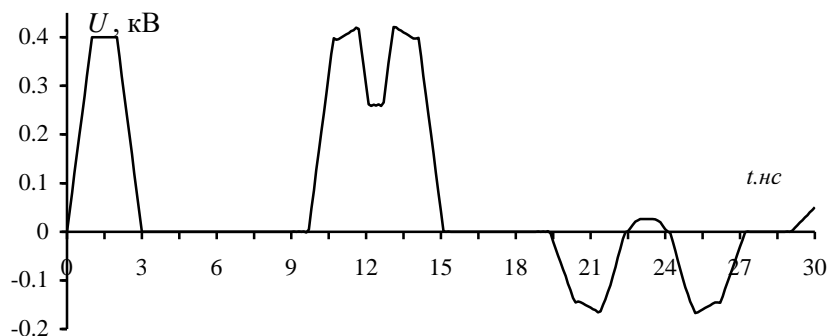


Рисунок 24. Форма сигнала на выходе МЛ ($s=1$ мм, $h=6$ мм)

6.3. Заключение по разделу

В данном разделе описаны новые принципы конструкций простых печатных структур для доступной и эффективной защиты от СКИ. Впервые получено, что асимметричный МФ без резисторов может иметь коэффициент ослабления на 70% больший (12 против 7), чем МФ с резисторами при тех же параметрах поперечного сечения. Показано, что изменение параметров поперечного сечения и длины МФ без резисторов может увеличить коэффициент ослабления до 20 раз. На том же поперечном сечении продемонстрирован другой принцип разложения СКИ, основанный на распространенной МЛ. Для этого подхода получен коэффициент ослабления 2,5 раз. Несмотря на то, что он гораздо меньше, чем для МФ, МЛ может быть гораздо короче, чем МФ. Более того, возможно использование каскадного соединения структур МФ и МЛ, которое может быть удобным и эффективным ввиду одинакового поперечного сечения.

Результаты данного раздела поспособствуют существенному уменьшению стоимости МФ и внедрению новых принципов фильтрации. Новые устройства, основанные на описанных принципах, будут надежными, дешевыми и радиационно-стойкими ввиду отсутствия каких-либо компонентов.

7. Исследование временного отклика безрезистивного МФ

В предыдущем разделе выявлено, что когда на одном из концов пассивного проводника МФ разрыв, а на другом – короткое замыкание (МФ без резисторов), достигается наибольший коэффициент ослабления. В данном разделе будет проведен тщательный анализ временного отклика такого МФ, поскольку исследование временного отклика МФ асимметричной структуры без резисторов может внести вклад в модальную теорию.

7.1. Результаты моделирования

Для более тщательного анализа временного отклика МФ, повторим переход к безрезистивному МФ. Сначала моделировался согласованный МФ, т.е. когда все сопротивления МФ равны среднему геометрическому импедансов четной и нечетной мод: $R_e = R_L = R_{m_{1,2}} = R = 36,515 \text{ } \Omega$. Для перехода к оптимальному МФ без резисторов, на концах пассивного проводника задавались граничные значения, имитировавшие холостой ход и короткое замыкание: $R_{m_1} = 1000R$ и $R_{m_2} = 0,001R$. Формы сигнала в конце активного проводника МФ, вычисленные в TALGAT для этих случаев представлены на рисунке 25.

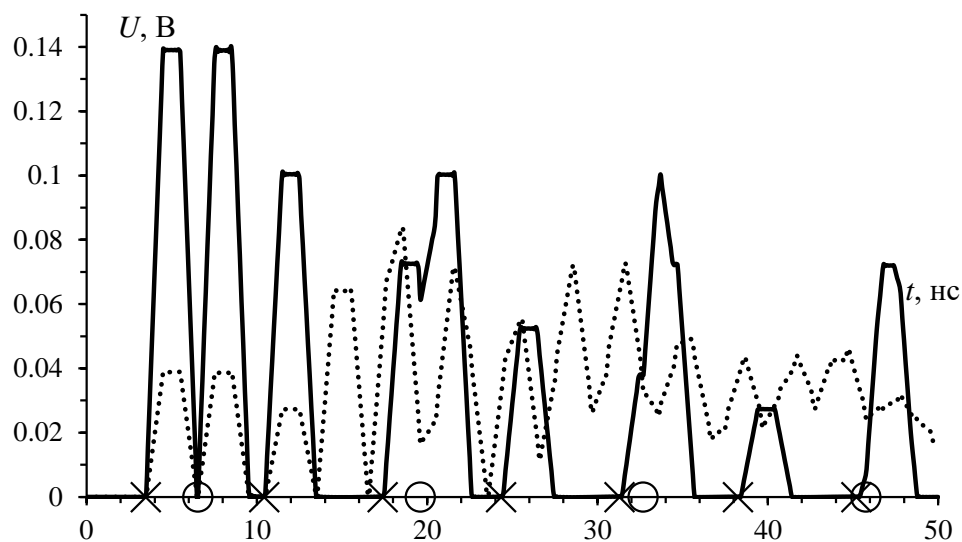


Рисунок 25. Формы сигнала на выходе МФ для согласованного случая (—) и для случая без резисторов (····); вычисленные моменты прихода импульсов четной t_{ie} (x) и нечетной t_{io} (o) мод

Для анализа временного отклика МФ из матриц \mathbf{L} и \mathbf{C} вычислены τ_e, τ_o . Согласно модальной теории, во временном отклике МФ первые два импульса соответствуют четной и нечетной модам, а в составе остальных импульсов их отражения. Таким образом, момент прихода i -го импульса соответствующей моды:

$$t_{ie,o} = \tau_{e,o} \cdot l(2i - 1), \quad i=1, 2, \dots \quad (6)$$

Вычисленные значения τ_e, τ_o в TALGAT для исследуемого МФ: $\tau_e=3.48$ ns/m; $\tau_o=6.54$ ns/m. Моменты времени $t_{ie,o}$, найденные по (6), отмечены на рисунке 25 и всех последующих графиках.

Для подтверждения результатов квазистатического моделирования в TALGAT (рисунок 25), временной отклик МФ без резисторов вычислен в ПО CST MWS, где используется электродинамический анализ. Полученные различными методами формы сигнала на выходе МФ без резисторов представлены на рисунке 26.

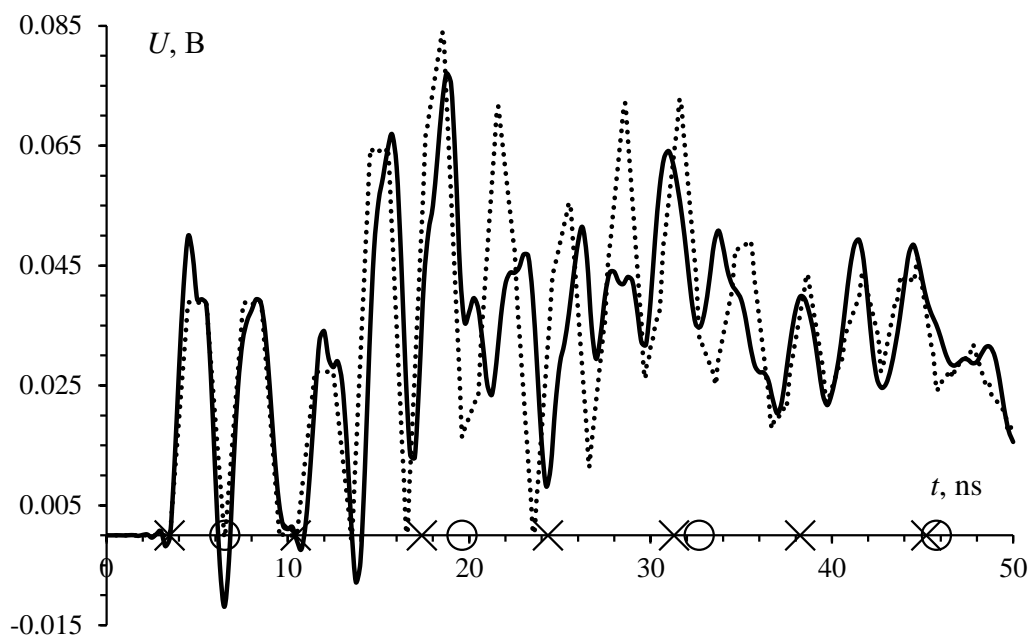


Рисунок 26. Формы сигнала на выходе МФ без резисторов, полученные в TALGAT (····) и CST MWS (—); вычисленные в TALGAT моменты прихода импульсов четной t_{ie} (x) и нечетной t_{io} (o) мод

На рисунке 27 представлена полученная в TALGAT форма сигнала на выходе МФ без резисторов для входного воздействия с длительностями фронтов и плоской вершины по 0,1 нс (уменьшены в 10 раз).

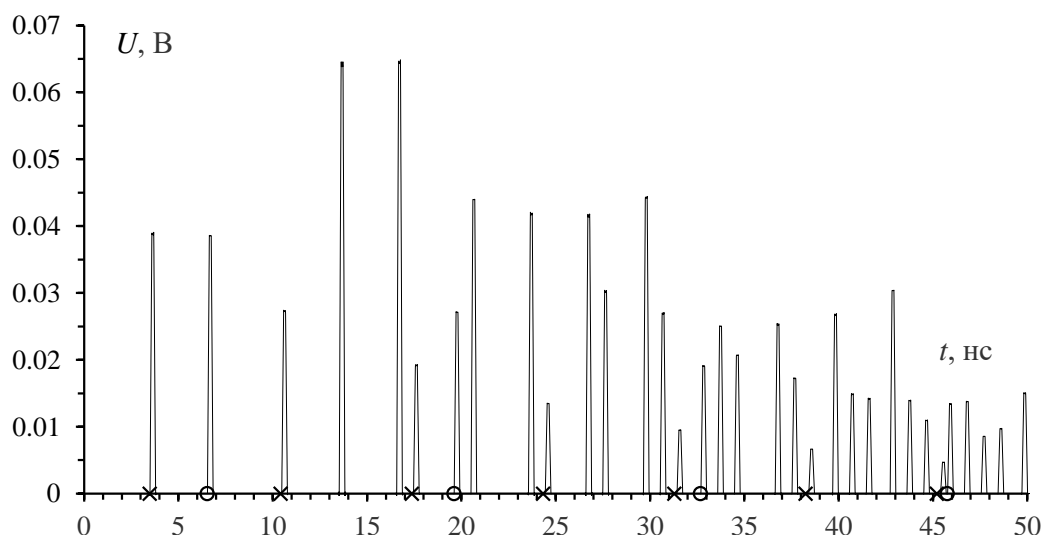


Рисунок 27. Форма сигнала на выходе МФ без резисторов, полученная в TALGAT (—) для входного воздействия с длительностями фронтов и плоской вершины по 0.1 нс; вычисленные в TALGAT моменты прихода импульсов четной t_{ie} (x) и нечетной t_{io} (o) мод

7.2. Обсуждение результатов

Рассмотрим вычисленные формы сигнала на выходе МФ, представленные на рисунке 25. Видно, что для согласованного МФ (сплошная кривая) моменты прихода всех импульсов соответствуют вычисленным моментам времени $t_{i e, o}$, т.е. форма сигнала в этом случае полностью объясняется модальной теорией. Однако для формы сигнала МФ без резисторов (пунктирная кривая на рисунке 25) мы видим, что 4-й, 8-й и 12-й импульсы не соответствуют $t_{i e, o}$. Таким образом, эта форма сигнала содержит импульсы, которые не являются отражениями четной или нечетной моды. Сравнение форм сигнала для МФ без резисторов, вычисленных различными методами (рисунок 26) позволяет исключить версию ошибки квазистатического моделирования.

Анализируя графики на рисунке 25, можно также заметить, что, в отличие от формы сигнала согласованного МФ, многие импульсы в форме сигнала МФ без резисторов являются не трапециевидными. Можно предположить, что эти импульсы являются наложением отдельных соседних импульсов. Эту гипотезу подтверждает временной отклик из рисунка 27, откуда видно, что на самом деле импульсов, которые не соответствуют моментам $t_{i e, o}$ больше, чем было выявлено на рисунке 25: на рисунке 27 это импульсы №4, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 14 и т.д. Например, импульс 5 из рисунка 25 соответствует частичному наложению импульсов 5, 6 из рисунка 27.

В таблице 3 внесены все импульсы, не соответствующие моментам $t_{i e, o}$ с их моментами прихода $t_{k x}$, определенными по рисунку 27. Также в таблице 3 отражена выявленная закономерность моментов $t_{k x}$: вычислены соответствующие линейные комбинации τ_e , τ_o и определено отклонение σ значений этих комбинаций от момента прихода, определенного по графику. Заметим, что $\sigma_{\max}=2.29\%$, а для большинства (86%) комбинаций $\sigma < 0.9\%$. Полученное совпадение позволяет утверждать о достоверности выявленной закономерности.

Таблица 3. Моменты прихода импульсов t_{kx} и линейные комбинации τ_e, τ_o

Номер импульса	Момент прихода t_{kx} по графику, нс	Линейная комбинация τ_e, τ_o			Отклонение $\sigma =$ $ \frac{(\alpha\tau_e + \beta\tau_o)}{t_{kx}} - 1 \cdot 100, \%$
		α	β	$\alpha\tau_e + \beta\tau_o$, нс	
4	13.45	2	1	13.49	0.32
5	16.48	1	2	16.55	0.45
8	20.5	2	2	20.03	2.29
9	23.56	3	2	23.51	0.21
11	26.6	2	3	26.57	0.11
12	27.48	6	1	27.4	0.29
13	29.63	1	4	29.63	0
14	30.5	3	3	30.05	1.48
17	33.56	4	3	33.52	0.12
18	34.46	8	1	34.36	0.29
19	36.57	3	4	36.59	0.05
20	37.48	7	2	37.42	0.16
22	39.65	2	5	39.65	0
23	40.57	6	3	40.48	0.22
24	41.26	8	2	40.9	0.87
25	42.73	1	6	42.71	0.05
26	43.62	5	4	43.54	0.18
27	44.12	7	3	43.96	0.36
30	46.4	4	5	46.6	0.43
31	47.3	8	3	47.43	0.27
32	48.45	1	7	49.25	1.65
33	49.7	3	6	49.66	0.08

7.3. Заключение по разделу

В данном разделе представлены результаты вычисления временного отклика печатного асимметричного модального фильтра на СКИ. Описан переход от согласованного МФ к МФ без резисторов, дающему больший коэффициент ослабления. Проведен детальный анализ полученных форм сигнала и для МФ впервые обнаружены импульсы, которые не являются отражениями четной или нечетной моды сигнала. Эти импульсы выявлены в квазистатическом моделировании в TALGAT и их наличие подтверждено в электродинамическом моделировании в CST MWS. Проведено дополнительное вычисление временного отклика в TALGAT на СКИ с уменьшенной длительностью, которое позволило разделить наложенные импульсы и предположить закономерность в моментах их прихода: показано,

что они с хорошей точностью описываются линейными комбинациями погонных задержек четной и нечетной мод линии.

Отметим, что наличие выявленных импульсов характерно для асимметричной структуры МФ именно с рассогласованием на концах пассивного проводника, поскольку для согласованного случая эти импульсы не наблюдались. Результаты данного раздела могут способствовать разработке более совершенных устройств для защиты от воздействий СКИ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т31	Газизову Александру Тальгатовичу

Институт	Институт Кибернетики	Кафедра	Систем управления и мехатроники
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<p>1. Показатели оценки качества разработки.</p> <p>2. Показатели оценки коммерческого потенциала разработки.</p> <p>3. Сильные и слабые стороны, возможности и угрозы проекта.</p>	<p>– Надежность, простота эксплуатации, возможность автоматизации измерений и т.д.;</p> <p>– Конкурентоспособность, цена, срок выхода на рынок, перспективность рынка, послепродажное обслуживание, и т.д.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Оценка качества разработки и ее перспективности на рынке с помощью технологии <i>QuaD</i>.</p>	<p>– Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации;</p> <p>– по результатам оценки качества и перспективности разработка имеет оценку выше среднего ($P_{ср}=0.76$) и выгодна для инвестиций;</p> <p>– необходимо расширить послепродажное обслуживание, разработать маркетинговую кампанию для сокращения времени выхода на рынок, сертифицировать разработку.</p>
<p>2. Исследование внешней и внутренней среды проекта с помощью SWOT-анализа</p>	<p>– SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта;</p> <p>– для упрощения процедуры проведения SWOT-анализ проводят в табличной форме.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В. В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т31	Газизов А.Т.		

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

8.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Научные исследования, проведенные в ходе выполнения ВКР, направлены на создание устройства защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких электромагнитных импульсов.

Конечными потребителями этого устройства могут являться:

- Предприятия атомной, военно-промышленной, топливно-энергетической отраслей
- Государственные организации стратегического значения
- Производители устройств защиты от помех
- Различные коммерческие предприятия

8.2. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Ни один из существующих бытовых сетевых фильтров питания (Pilot, Defender, Vector и др.) не обеспечивает защиту от сверхкоротких импульсов, а промышленные устройства, защищающие от СКИ, имеют высокую стоимость и большие габариты (стоимость фильтра ФСШПИ-6,3А «ЭМСОТЕХ» - 183 000 руб.). Стоимость устройства, разрабатываемого в рамках ВКР, будет на порядок ниже за счет использования нового принципа защиты, основанного на модальных искажениях, который не требует использования большой базы радиоэлектронных компонентов. Кроме того, предлагаемое устройство будет настолько компактным, что будет возможно его встраивание в существующие распространенные сетевые фильтры. В то же время, на начальном этапе,

предлагаемое устройство будет обладать скорее всего худшими показателями надежности, чем существующие устройства специализированных предприятий.

Таким образом, с помощью таблицы 4 проведен анализ конкурентных технических решений. В таблице 4 индекс «ф» соответствует разрабатываемому устройству, индекс «к1» – наиболее близкому конкурентному изделию - промышленному фильтру ФСШПИ-6,3А производства ЗАО «ЭМСОТЕХ», индекс «к2» соответствует распространенным бытовым сетевым фильтрам сети электропитания. Анализ конкурентоспособности показал, что потенциально фирма превосходит своих конкурентов и имеет достаточно неплохие шансы для выхода и занятия высокой позиции на рынке.

Таблица 4. Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность по отдельным критериям		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
Эффективность защиты	0.3	4	4	1	1.2	1.2	0.3
Цена	0.2	5	3	5	1	0.6	1
Надежность	0.2	3	5	2	0.6	1	0.4
Габариты	0.2	5	3	4	1	0.6	0.8
Радиационная стойкость	0.1	5	5	2	0.5	0.5	0.2
Конкурентоспособность фирмы					4.3	3.9	2.7

8.3. Исследование целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект

Воспользуемся технологией QuaD (QUality ADvisor) для определения целесообразности вложения денег в реализацию проведенных исследований. Для анализа результатов, выделим ряд наиболее важных характеристик проектов такого рода и их показателей. Результаты проведенного сравнения выбранных показателей представлены в таблице 5.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 59 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Макс. балл	Относительное знач.	Средневзвеш. знач.
Эффективность защиты	0.3	80	100	0.8	0.24
Цена	0.2	90	100	0.9	0.18
Надежность	0.2	50	100	0.5	0.1
Габариты	0.2	80	100	0.8	0.16
Радиационная стойкость	0.1	80	100	0.8	0.08
Сумма критериев	1				0.76

Таким образом, по результатам применения технологии QuaD, разработанное в рамках выполнения ВКР устройство защиты от сверхкоротких импульсов можно считать перспективной разработкой, так как значение средневзвешенной оценки оказалось равным 76%.

8.4. SWOT-анализ

SWOT-анализ заключается в выявлении сильных и слабых сторон проекта, возможностей для дальнейшего развития и угроз существованию и развитию; направлен на исследование внутренней и внешней среды проекта. Составим итоговую матрицу SWOT-анализа, представленную в таблице 6.

Таблица 6 – Матрица SWOT-анализа

	<p><u>Сильные стороны:</u> С1. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями; С2. Эффективная защита от сверхкоротких импульсов; С3. Высокая радиационная стойкость; С4. Малые габариты и возможность встраивания в сетевые фильтры С5. Широкая область применения.</p>	<p><u>Слабые стороны:</u> Сл1. Отсутствие финансирования. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца; Сл3. Отсутствие опытного образца научной разработки; Сл4. Отсутствие репутации на рынке;</p>
<p><u>Возможности:</u> В1. Повышение спроса на устройства защиты от помех; В2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск, инновационной инфраструктуры ТПУ В3. Сотрудничество со стратегическими предприятиями. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок;</p>	<p>Широкая область применения вместе с более низкой стоимостью и более эффективной защитой по сравнению с конкурентами позволят легко найти первых заказчиков. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск позволит разработать опытный образец устройства с наименьшим привлечением средств.</p>	<p>Отсутствие финансирования, оборудования для проведения испытаний, опытного образца и репутации на рынке может привести к отказу стратегических предприятий от сотрудничества. Поэтому необходимо максимально использовать возможности инновационной структуры ТПУ, ОЭЗ ТВТ Томск, гранты.</p>
<p><u>Угрозы:</u> У1. Ограничения на экспорт устройства в связи с внешней политикой (санкциями); У2. Снижение спроса из-за повышенного уровня конкуренции;</p>	<p>При большом количестве конкурентов могут возникнуть трудности по внедрению продукта. В условиях нынешней политической ситуации, возможны трудности с продвижением продукта на зарубежный рынок.</p>	<p>При недостаточном финансировании будет сложно создать качественное и надежное устройство, а также разработать маркетинговую стратегию. Это приведёт к снижению спроса, так как разработки конкурентов могут стать более привлекательными.</p>

8.5. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика научных исследований.

Рабочая группа, выполняющая научные исследования, состоит из трех человек: научного руководителя, и двух студентов - непосредственных исполнителей.

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макси}}{5},$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{макси}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Временные показатели проведения научного исследования сведены в таблице 7. На основании таблицы 7 разработан календарный план-график проведения работ (диаграмма Ганта) наиболее трудоемкого исполнения, представленный в таблице 8.

Таблица 7. Временные показатели проведения научного исследования: Исп. 1 – студенты, Исп. 2 – научный руководитель.

Название работы	Трудоёмкость работ						Кол-во Исп. 1 Ч _i	Длительность работ в рабочих днях Т _{рi}		Длительность работ в календарных днях Т _{кi}	
	t _{min} , чел-дни		t _{max} , чел-дни		t _{ожi} , чел-дни			Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2					
Выбор направления научного исследования	14	1	28	2	19.6	1.4	2	9.8	1.4	14.5	2.1
Составление и утверждение технического задания	14	1	28	2	19.6	1.4	2	9.8	1.4	14.5	2.1
Обзор литературы	28	0	36	0	31.2	0	2	15.6	0	23.1	0.0
Исследование конструкций блока розеток и сетевого фильтра для встраивания МФ	14	2	20	4	16.4	2.8	1	16.4	2.8	24.3	4.1
Исследование способов расположения МФ	10	1	14	2	11.6	1.4	1	11.6	1.4	17.2	2.1
Исследование надежности МФ	8	1	14	2	10.4	1.4	1	10.4	1.4	15.4	2.1
Синтез схемы МФ	5	1	10	3	7	1.8	1	7	1.8	10.4	2.7
Исследование структуры и схемы включения МФ	28	1	36	2	31.2	1.4	2	15.6	1.4	23.1	2.1
Квазистатическое моделирование	8	1	14	2	10.4	1.4	1	10.4	1.4	15.4	2.1
Электродинамическое моделирование	14	0	20	0	16.4	0	1	16.4	0	24.3	0.0
Оптимизация структуры и схемы включения МФ	28	1	36	2	31.2	1.4	1	31.2	1.4	46.2	2.1
Изготовление лабораторного макета устройства	14	1	18	2	15.6	1.4	1	15.6	1.4	23.1	2.1
Тестирование лабораторного макета устройства	8	2	16	4	11.2	2.8	1	11.2	2.8	16.6	4.1
Анализ результатов и финальные доработки	8	2	10	3	8.8	2.4	2	4.4	2.4	6.5	3.6
Создание отчетов и документов	28	4	36	8	31.2	5.6	2	15.6	5.6	23.1	8.3
Подготовка презентации дипломного проекта	4	1	8	2	5.6	1.4	2	2.8	1.4	4.1	2.1
Итого	233	20	344	40	277	28		204	28	302	41

Таблица 8. Календарный план-график проведения работ. Исполнители: ☐ – студент 1 ☐ – студент 2 ▨ – руководитель

№	Вид работ	T _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																										
			сент.			окт.			нояб.			дек.			январ.			февр.			мар.			апр.			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Выбор направления научного исследования	17	☐	☐																									
2	Составление и утверждение технического задания	17		☐	☐	▨																							
3	Обзор литературы	23				☐	☐	☐																					
4	Исследование конструкций блока розеток и сетевого фильтра для встраивания МФ	28							☐	☐	▨																		
5	Исследование способов расположения МФ	19								☐	☐	▨																	
6	Исследование надежности МФ	17																											
7	Синтез схемы МФ	13																	☐	▨									
8	Исследование структуры и схемы включения МФ	24																		☐	☐	☐							
9	Квазистатическое моделирование	17							☐	☐	▨																		
10	Электродинамическое моделирование	24																											
11	Оптимизация структуры и схемы включения МФ	48																			☐	☐	☐						
12	Изготовление лабораторного макета устройства	25																				☐	☐	☐					
13	Тестирование лабораторного макета устройства	21																					☐	☐	☐				
14	Анализ результатов и финальные доработки	10																								☐	☐		
15	Создание отчетов и документов	31																				☐	▨						
16	Подготовка презентации дипломного проекта	6																									☐		

8.6. Бюджет научно-технического исследования

При проектировании бюджета научно-технического исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

8.6.1. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, в том числе затраты на канцелярские принадлежности, картриджи, диски и прочее.

Таблица 9. Материальные затраты.

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Стеклотекстолит FR-4; 0,5 мм;	м ²	1	1500	1500
Резистор постоянный 0.25 Вт	шт.	4	2	8
Провода	метр	5	10	50
Печатная бумага	пачка	1	145	145
Канцелярские товары	комплект	1	50	50
Итого, руб				1753

8.6.2. Затраты на приобретение специального оборудования

К этой статье относятся затраты на приобретение различного оборудования. Так как специальное оборудование уже имелось в наличии, оно учитывается в сметной стоимости в виде амортизационных отчислений, и рассчитывается по формуле:

$$C_A = \frac{\Phi_{пер} \cdot H_A}{100\%},$$

где $\Phi_{пер}$ – первоначальная стоимость оборудования, рубли;

H_A – годовая норма амортизации.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{T_{сл}},$$

где $T_{сл}$ – срок службы оборудования, лет.

Оборудование, используемое в НТИ, приведено в таблице 10.

Таблица 10. Специальное оборудование

Наименование	Кол-во	$\Phi_{пер}$, руб	$T_{сл}$, лет	На, %	Са, руб
Паяльная станция	1	12000	5	20	2400
Осциллограф	1	55000	10	10	5500
Генератор сверхкоротких импульсов	1	120000	10	10	12000
Итого		187000			19900

Таким образом, амортизационные отчисления будут составлять 19900 рублей в год. За 9 месяцев проекта амортизационные отчисления составят 14925 рублей.

8.6.3. Расчет заработной платы

Основная заработная плата состоит из заработной платы работников, непосредственно связанных с созданием НТП, включая премии и доплаты.

Зарплата исполнителей рассчитывается по формуле

$$Z_{п} = Z_{о} + Z_{доп},$$

где $Z_{п}$ – зарплата, определяемая по профессионально квалификационным группам, с учетом повышающих коэффициентов, рубли;

$Z_{доп}$ – дополнительная зарплата (12-20% от основной), рубли;

Основная заработная плата:

$$Z_{о} = Z_{мин} \cdot K_c,$$

где $Z_{мин}$ – базовый оклад, рубли, $Z_{мин} = 7800$ рублей.

K_c – повышающий коэффициент.

Дополнительная зарплата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot Z_0,$$

Подставляя данные значения в вышеуказанные формулы, получим результаты, которые представлены в таблице 11.

Таблица 11. Расчет заработной платы

Исполнители	Квалификац. уровень	Повышающий коэффициент K_c	Z_0 , руб	$Z_{\text{доп}}$, руб	$Z_{\text{п}}$, руб
Руководитель	4	1,4	10920	1638	12558
Исполнитель 1	1	1	7800	1170	8970
Исполнитель 2	1	1	7800	1170	8970
Заработная плата всех участников проекта, руб.					30498
Заработная плата за 9 месяцев, руб.					274482

Таким образом, суммарные расходы на заработную плату за время выполнения проекта составят 274 482 руб.

8.6.4. Формирование бюджета НИИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 12.

Таблица 12. Формирование бюджета НТИ

№	Наименование статьи	Затраты, руб.	Примечание
1	Заработная плата	274482	Таблица 11
2	Страховые взносы	74385	27,1 % от статьи 1
3	Расходы на материалы	1753	Таблица 9
4	Специальное оборудование	19900	Амортизационные отчисления, Таблица 10
Итого сумма прямых расходов		370520	
5	Накладные расходы	59283	16% от суммы расходов
6	Бюджет ВКР, руб.	429803	Сумма статей 1-5

8.7. Заключение по разделу

В данном разделе были определены потенциальные потребители результатов исследования, проведен анализ конкурентных технических решений и обоснована целесообразность проекта, проведен SWOT-анализ и описан график проведения работ, рассчитан бюджет проекта.

Рассчитанные финансовые ресурсы, требуемые для разработки и тестирования лабораторного макета устройства защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких электромагнитных импульсов, составляют порядка 429 803 рублей. Учитывая срок выполнения проекта (9 месяцев) и количество участников (3 человека) эта цифра является приемлемой.

Благодаря низкой себестоимости конечного продукта возможен быстрый срок окупаемости проекта и устранение угроз, описанных в SWOT-анализе. При этом особое внимание следует уделить выходу продукта на рынок и его продвижению, установлению сотрудничества с крупными заказчиками. Для этого на данном этапе необходимо активное участие в конференциях, выставках и форумах, а также участие в грантах и конкурсах на получение финансирования для малых инновационных предприятий.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Т31	Газизову Александру Тальгатовичу

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	ИКСУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Рабочим местом является аудитория №115 10 корпуса Томского политехнического университета. В аудитории рабочей зоной является место за персональным компьютером, отведённое студенту для выполнения работы. Целью работы является разработка устройства защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких электромагнитных импульсов. Основным оборудованием, на котором производится работа, является персональный компьютер с периферийными устройствами.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты. <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности; – термические опасности; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность. 	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • недостаточная освещённость рабочей зоны: отсутствие или недостаток естественного света; • повышенный уровень шума; • повышенный уровень электромагнитных излучений; • повышенная или пониженная влажность воздуха <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • электрический ток (источником является ПК)
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу; – анализ воздействия объекта на гидросферу; 	<p>В работе проведён анализ воздействия на атмосферу и гидросферу</p>

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу; – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>В аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется в СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова Марина Игоревна	К.Х.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т31	Газизов Александр Тальгатович		

9. Социальная ответственность

В этом разделе рассматриваются особенности организации рабочего места специалиста, осуществляющего работу по настройке устройства защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких электромагнитных импульсов.

Предполагается, что работа со устройством, а также разработка программного обеспечения осуществляется в закрытом, отапливаемом и вентилируемом помещении, на рабочем месте, оснащённом персональным компьютером.

Далее будут рассмотрены факторы рабочей зоны и рабочего места, влияющие на состояние сотрудника, а также влияние проектной деятельности на состояние окружающей среды.

9.1. Производственная безопасность

Таблица 13. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по настройке учебного стенда.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Работа за персональным компьютером. 2. Работа с оборудованием в помещении	1. Недостаточная освещённость рабочей зоны: отсутствие или недостаток естественного света; 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 4. Повышенная или пониженная влажность воздуха	1. Электрический ток	1. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение. [25] 2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». [26] 3. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. [27]

			<p>4. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [28]</p> <p>5. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [29]</p>
--	--	--	--

9.1.1. Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света

Освещение рабочего места специалиста, работающего с устройством защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких электромагнитных импульсов складывается из естественного и искусственного освещения. Естественное освещение достигается установкой оконных проемов с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2 % в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5 % на остальной территории [35].

Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 указаны в таблице 14 [36].

Таблица 14. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО е н, %		КЕО е н, %		Освещенность, лк				
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При комбинированном освещении		При общем освещении	Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, К _п , %, не более
1	2	3	4	5	6	7	8			

Кабинеты, рабочие комнаты, офисы	Г – 0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300	40	15
Помещени я для работы с дисплеями и видеотерм иналами, залы ЭВМ	Г – 0,8 Экран монитора: В – 1,2	3,5 -	1,2 -	2,1 -	0,7 -	500 -	300 -	400 200	15 -	10

Для искусственного освещения помещений с персональными компьютерами следует применять светильники типа ЛПО36. Допускается применять светильники прямого света, преимущественно отраженного света типа ЛПО13, ЛПО5, ЛСО4, ЛПО34, ЛПО31 с люминесцентными лампами типа ЛБ. Допускается применение светильников местного освещения с лампами накаливания. Светильники должны располагаться линиями (прямыми или прерывающимися) так, чтобы при разном положении машин они были параллельно линии зрения пользователя. Защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов [35].

В утреннее и вечернее время вводится общее искусственное освещение. Основными источниками искусственного освещения являются лампы белого света ЛБ-20.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 в помещениях для работы за ПК следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Выполним расчет естественного освещения. Расчет производится согласно СНиП 23.05-95 «Естественное и искусственное освещение». Рабочая аудитория имеет размеры 6 x 5 x 2,5 м, в которой установлены 2 окна размером 1,6 x 2,2 м. Освещение боковое, одностороннее, выделение пыли и других аэрозолей допустимо с концентрацией не более 5 мг/м³.

Зная размеры окон и их количество, можем рассчитать эквивалентную площадь световых проемов по формуле (1):

$$S_{\text{ЭКВ}} = N \cdot S_{\text{ОКНА}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 2,2 = 7,04 \text{ м}^2. \quad (1)$$

Площадь помещения найдём из размеров аудитории по формуле (2):

$$S = 6 \cdot 5 = 30 \text{ м}^2. \quad (2)$$

Далее также будут применены следующие величины [25, 37]:

а) $n_0 = 9$ – световая характеристика окна, зависящая от глубины помещения, выступа окна и соотношения длин сторон;

б) $K_{зд} = 1,2$ – коэффициент, учитывающий уменьшение КЕО от затемнения противостоящим зданием;

в) $r_1 = 3$ – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от внутренних поверхностей;

г) t_0 – общий коэффициент светопропускания, вычисляющийся как

д) $t_0 = t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_4 = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 0,27$, где:

$t_1 = 0,8$ - зависит от вида светопропускающего материала;

$t_2 = 0,6$ - зависит от вида проема;

$t_3 = 0,7$ - зависит от степени загрязнения светопропускающего материала;

$t_4 = 0,8$ - зависит от несущих конструкций.

Рассчитаем фактический коэффициент естественного освещения (КЕО) по формуле (3):

$$\text{КЕО}_\phi = \frac{S_{\text{экв}} \cdot t_0 \cdot r_1 \cdot 100}{S \cdot n_0 \cdot K_{зд}} = \frac{7,04 \cdot 0,27 \cdot 3 \cdot 100}{30 \cdot 9 \cdot 1,2} = 1,76. \quad (3)$$

Получили, что фактический коэффициент естественного освещения соответствует норме согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [12].

Рассчитаем фактическое искусственное освещение. Как уже говорилось, основными источниками искусственного освещения являются лампы белого света ЛБ-20 в количестве $N = 16$ шт. Световой поток одной лампы $F = 1180$ лм. Коэффициент запаса примем равным $k = 1,1$, а коэффициент минимальной освещённости $z = 1,1$.

Найдем индекс помещения по формуле (4):

$$i = \frac{S}{h_p \cdot (a + b)}, \quad (4)$$

где:

S – площадь помещения;

a и b – длина и ширина помещения;

h_p – расчетная высота, равная:

$$h_p = h - h_c - h_{p.п}, \quad (5)$$

где:

h – высота помещения;

$h_c = 0,2$ м – расстояние от перекрытия до светильника;

$h_{p.п} = 1$ м – расстояние от пола до рабочей поверхности.

Отсюда, индекс помещения равен:

$$i = \frac{S}{(h - h_c - h_{p.п}) \cdot (a + b)} = \frac{30}{(2,5 - 0,2 - 1) \cdot (6 + 5)} = 2,09. \quad (6)$$

Зная индекс помещения, определим коэффициент использования светового потока по существующей таблице [28]. Коэффициент использования светового потока равен $n = 0,62$.

Теперь воспользуемся формулой (7) и рассчитаем фактическое искусственное освещение:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n}{S \cdot z \cdot k} = \frac{1180 \cdot 16 \cdot 0,62}{30 \cdot 1,1 \cdot 1,1} = 322,46 \text{ лк}. \quad (7)$$

Таким образом, из рассчитанных данных видно, что использование имеющегося числа газоразрядных ламп достаточно для соблюдения норм искусственной освещенности на рабочем месте согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [36].

9.1.2. Повышенный уровень шума

При выполнении работ, описанных выше, специалист может оказаться под шумовым воздействием со стороны оборудования, находящегося в рабочем помещении: персональные компьютеры, печатающие устройства, оборудование поддержки микроклимата (кондиционеры, вентиляция) и прочее.

Работы, выполняемые специалистом, оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, следовательно, согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96 эквивалентный уровень шума в рабочем помещении не должен превышать 50дБА.

Таблица 15. Эквивалентные уровни звука для проектно-конструкторских бюро, лабораторий для теоретических работ по СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. [27]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Эквивалентные уровни шума, дБА
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	50

В качестве мер по снижению шума, воздействующего на человека, в первую очередь следует использовать средства коллективной защиты. Наиболее эффективной защитой от шума, источником которого являются циркуляционные насосы программно-аппаратного комплекса, было бы создание специальных архитектурно-строительных решений на этапе проектирования рабочего места в рабочей аудитории, но так как помещение в момент строительства здания не планировалось использовать для таких целей, то единственным решением по принятию мер коллективной защиты от производственного шума является использование акустического экрана или звукоизолирующего кожуха [35].

В качестве индивидуальных средств защиты от шума специалистом могут быть использованы специальные противошумные наушники, которые обезопасят пользователя от вредного воздействия шумов и помогут сделать условия работы более комфортными [35].

9.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений; повышенная напряжённость электрического поля

Источником электромагнитного поля и электромагнитных излучений на рабочем месте является компьютер, в частности экран монитора компьютера. Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/час [26].

Время работы на персональном компьютере по санитарным нормам не должно превышать 4 часа.

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 4.

Таблица 16. Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений по СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. [26]

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: – для взрослых пользователей	20 кВ/м

Предельно-допустимые нормы ЭМП представлены в таблице 17.

Таблица 17. Предельно допустимые нормы ЭМП по СанПиН 2.2.4.548 – 96. [29]

Напряжённость электрического поля	
в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	
в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл

Ряд мероприятий, позволяющих уменьшить влияние вредных факторов на работника при работе за ПК: каждый час необходимо делать перерыв, для выполнения гимнастики для глаз, а также выполнять несколько упражнений

на расслабление, которые могут уменьшить напряжение, накапливающееся в мышцах при длительной работе за компьютером [26].

9.1.4. Микроклимат

Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения [26] (табл. 18, 19). Выполняемая работа относится к категории легкая (1б).

Таблица 18. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96 [29]

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21 - 23	20 – 24	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 19. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96 [29]

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 - 75	0,1	0,2
Теплый	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75	0,1	0,3

В данном случае температура воздуха и температура поверхностей составляют 22 °С и 21 °С при относительной влажности 45 % в холодный период года; 24 °С и 23 °С при относительной влажности воздуха 50 % в теплый период года, что соответствует нормам [40].

9.1.5. Электрический ток (источник: ПК)

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока, клавиатуры, а также при работе за паяльной станцией, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя вышеописанного оборудования.

На рабочем месте пользователя размещены дисплей, клавиатура и системный блок. Использование паяльной станции со всеми необходимыми принадлежностями предполагается отдельно, когда на рабочем месте могут присутствовать все элементы ПК, но они находятся на расстоянии не менее вытянутой руки сидящего работника.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

Методы защиты от воздействия статического электричества:

- влажная уборка, чтобы уменьшить количество пылинок в воздухе и на предметах офиса;
- использование увлажнителей воздуха;
- защитное заземление;
- применение средств индивидуальной защиты, таких как антистатические спреи и браслеты.

Допустимый ток частотой 50 Гц при длительности воздействия более 10 секунд составляет 2 мА, а при длительности 10 секунд и менее – 6 мА. Для переменного тока эта величина соответственно равна 10 и 15 мА. [28]

Методы защиты от опасности поражения электрическим током:

- электрическая изоляция токоведущих частей (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм);

- ограждение токоведущих частей, которые работают под напряжением;
- использование малых напряжений, например, не более 50 В;
- электрическое разделение сетей на отдельные короткие участки;
- защитное заземление и зануление;
- применение средств индивидуальной защиты, таких как плакаты и знаки безопасности, изолирующие подставки, указатели напряжения.

9.2. Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды сводится к устранению отходов бытового мусора и отходам жизнедеятельности человека. В случае выхода из строя ПК, они списываются и отправляются на специальный склад, который при необходимости принимает меры по утилизации списанной техники и комплектующих [39].

Одним из самых распространенных источников ртутного загрязнения являются вышедшие из эксплуатации люминесцентные лампы. Каждая такая лампа, кроме стекла и алюминия, содержит около 60 мг ртути. Поэтому отслужившие свой срок люминесцентные лампы, а также другие приборы, содержащие ртуть, представляют собой опасный источник токсичных веществ [39].

Утилизация ламп предполагает передачу использованных ламп предприятиям – переработчикам, которые с помощью специального оборудования перерабатывают вредные лампы в безвредное сырье – сорбент, которое в последующем используют в качестве материала для производства, например, тротуарной плитки.

Под хранением отходов понимается временное размещение их в специально отведённых для этого местах или объектах до их утилизации [35]. Отработанные люминесцентные лампы, согласно Классификатору отходов ДК 005-96, утвержденному приказом Госстандарта № 89 от 29.02.96 г., относятся к отходам, которые сортируются и собираются отдельно, поэтому утилизация

люминесцентных ламп и их хранение должны отвечать определенным требованиям.

9.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

9.3.1. Пожарная безопасность

Компьютерный класс по пожарной безопасности относится к категории В, в нём находятся горючие материалы и вещества в холодном состоянии [33]. По степени огнестойкости данное помещение относится к 3-й степени огнестойкости [34]. Возможные причины пожара: перегрузка в электросети, короткое замыкание, разрушение изоляции проводников.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения:

- огнетушащие вещества (вода, песок, земля);
- огнетушащие материалы (грубошерстные куски материи – кошмы, асбестовые полотна, металлические сетки с малыми ячейками ит. п.);
- немеханизированный ручной пожарный инструмент (багры, крюки, ломы, лопаты и т. п.);
- пожарный инвентарь (бочки и чаны с водой, пожарные ведра, ящики и песочницы с песком);
- пожарные краны на внутреннем водопроводе противопожарного водоснабжения в сборе с пожарным стволом и пожарным рукавом;
- огнетушители [34].

Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации (рисунок 28), порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

Углекислотные огнетушители ОУ-3, ОУ-5 предназначены для тушения загораний веществ, горение которых не может происходить без доступа

воздуха, загораний электроустановок, находящихся под напряжением не более 1000В, жидких и газообразных веществ (класс В, С).

Огнетушители не предназначены для тушения загорания веществ, горение которых может происходить без доступа воздуха (алюминий, магний и их сплавы, натрий, калий), такими огнетушителями нельзя тушить дерево.

На рисунке 28 представлен план эвакуации при пожаре и других ЧС.



Рисунок 28. План эвакуации людей при пожаре и других ЧС (первый этаж)

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

9.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Предъявляемые требования к расположению и компоновке рабочего места:

«Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах (680 \div 800) мм, при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм [26].

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПК, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм [26].

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [26].

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400 \div 550) мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.;
- высоту опорной поверхности спинки (300 \pm 20) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости –400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах \pm 30 градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах (260 \div 400) мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250мм и шириной – (50 \div 70) мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах(230 \pm 30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 \div 500) мм [26].

Рабочее место пользователя ПК следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности

подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм [26].

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии (100 ÷ 300) мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы [26].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600 ÷ 700 мм), но не ближе 500 мм [26].

Рекомендуется работать в помещении, где окна выходят на север или северо-восток. Местное освещение не должно создавать блики на поверхности экрана дисплея. Недопустим яркий не рассеянный верхний свет (с потолка). Сдерживать поток избыточного света от окон следует с помощью жалюзи (или тканевых штор); чистота обязательна при работе за компьютером. Влажную уборку помещения следует проводить ежедневно. Недопустима запыленность воздуха, пола, рабочей поверхности стола и техники. Помещение должно быть оборудовано системами вентиляции, кондиционирования и отопления. Запрещается работа на компьютере и за паяльной станцией в подвальных помещениях.

Заключение

В данной работе исследовано новое устройство для защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких импульсов – асимметричный модальный фильтр с лицевой связью. Описана математическая модель, используемая при квазистатическом моделировании этого устройства, в том числе с учетом потерь в проводниках и диэлектриках. Показано влияние взаимного расположения проводников устройства на способность разлагать помеховые импульсы. Выявлен и обоснован способ уменьшения времени моделирования устройства при квазистатическом анализе путем увеличения значения сегментации границ структуры.

Разработано 3 макета устройства с разными геометрическими параметрами, проведены экспериментальные испытания, доказывающие эффективность разложения помеховых импульсов. Проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных форм сигнала с полученными при компьютерном моделировании, обоснована адекватность моделирования.

В заключение путем моделирования была выявлена схема включения устройства, не требующая резисторов и обладающая бóльшим коэффициентом ослабления. Кроме того, выявлена закономерность в моментах прихода дополнительных импульсов в выходном сигнале, которые не наблюдались ранее.

Результаты данной работы поспособствуют внедрению новых принципов защиты оборудования автоматизации от сверхкоротких импульсов. Новые устройства, основанные на разработанном прототипе, будут надежными, дешевыми и радиационно-стойкими. Выявленная схема включения устройства в будущем позволит создать более совершенное устройство защиты, ввиду бóльшего коэффициента ослабления и отсутствия в конструкции каких-либо радиоэлектронных компонентов.

Список публикаций студента

1. Газизов А.Т. Вычисление собственных значений векторов для исследования модального разложения импульса в гибком печатном кабеле бортовой аппаратуры космического аппарата // Молодёжь. Техника. Космос: труды VI Общероссийской молодёжной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 19-21 Марта 2014. - Санкт-Петербург: БГТУ, 2014 - С. 234-235
2. Газизов А.Т. Идея создания фильтра подавления сверхкоротких импульсов в сети электропитания // Научная сессия ТУСУР-2014: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 5-ти частях. Часть 5, Томск, 14-16 Мая 2014. - Томск: В-Спектр, 2014 - С. 140-142
3. Газизов А.Т. Идея создания фильтра подавления сверхкоротких импульсов в сети электропитания // Труды Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, Томск, 15-17 Мая 2014. - Томск: НТЛ, 2014 - С. 33-35
4. Газизов А.Т. Моделирование временного отклика модального фильтра с лицевой связью при различных значениях сопротивления нагрузки // Научная сессия ТУСУР-2015: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 5-ти частях. Часть 1, Томск, 13-15 Мая 2015. - Томск: В-Спектр, 2015 - С. 183-185. Режим доступа: <http://www.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/science/events/session/2015-1.pdf>
5. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M. New Approach to the Power Network Protection Against Ultrawide Band Pulses [Electronic resorces] // Recent advances in energy, environment and materials: proceedings of the 2014 International Conference on Energy, Environment and Material Science (EEMAS '14), Saint Petersburg, September 23-25, 2014. - St. Petersburg: St. Petersburg State Polytechnical University, 2014 - p. 104-108. - Mode of access: <http://www.europment.org/library/2014/russia/EEMAS.pdf>

6. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M. UWB Pulse Decomposition in Asymmetrical Modal Filter with Different Boundary Conditions 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. pp.1-3. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147024
7. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizova O.A. New Printed Structures for Protection Against UWB Pulses, 16-th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2015: Conference Proceedings. Novosibirsk State Technical University. Erlagol, Altai – 29 June – 3 July, 2015. pp. 120-122. DOI: 10.1109/EDM.2015.7184504
8. A.M. Zabolotsky, A.T. Gazizov Simulation of ultrawide band pulse propagation in asymmetrical modal filter for power network protection // International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. Vol. 9. 2015. Pages 68-74. ISSN: 1998-4464 (scopus: 2-s2.0-84926476976)
9. T. Gazizov, A. Melkozerov, A. Zabolotsky, S. Kuksenko, P. Orlov, V. Salov, R. Akhunov, I. Kalimulin, R. Surovtsev, M. Komnatnov, A. Gazizov. Ensurance and simulation of electromagnetic compatibility: recent results in TUSUR University. New Developments in Computational Intelligence and Computer Science, Austria, Vienna, 15–17 March 2015. p. 152-161. Mode of access: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/APNE/APNE-24.pdf>
10. А.Т. Газизов, А.М. Заболоцкий Разложение сверхкороткого импульса в модальных фильтрах с лицевой и торцевой связью [Электронный ресурс] // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр.- Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. - С. 317-319. Режим доступа: http://efir.sfu-kras.ru/wp-content/uploads/download/Сборник_СПП-2015.pdf
11. А.Т. Газизов, Временной отклик фильтра подавления сверхкоротких импульсов в сети электропитания в зависимости от толщины диэлектрической подложки [Электронный ресурс] // Перспективы развития фундаментальных наук: сб. тр. XII Международной конференция студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 апреля 2015.- Томск: ТПУ, 2015 – С. 1470-

1473. – Режим доступа: http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2015.pdf
12. Газизов А.Т. Моделирование временного отклика модального фильтра с учетом потерь в проводниках и диэлектриках [Электронный ресурс] // Высокие технологии в современной науке и технике: сборник научных трудов IV Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике» / под ред. А.Н. Яковлева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 358-360. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru/files/conferences/hightech/2015/proceedings_2015.pdf
13. A.T. Gazizov “Simple printed structures for low-cost and effective protection against UWB pulses”, Proceedings of ASIAEM 2015, Jeju Island, Republic of Korea, 2-7 August, 2015, pp. 1-3.
14. А.Т. Газизов Сравнение результатов измерения и моделирования временного отклика модального фильтра на воздействие сверхкороткого импульса // Докл. Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. – 2015. – № 4(38). – С. 149–152
15. В.К. Салов, А.Т. Газизов. «Лабораторная работа по моделированию преднамеренных силовых электромагнитных воздействий» // Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов: материалы междунар. науч.-метод. конф., 28–29 января 2016 г., Россия, Томск. — Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2016. – С. 135–137
16. Gazizov A.T. UWB Pulse Decomposition in Simple Printed Structures / A.T. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. – 2016.– Vol. 58, № 4. – PP. 1136 – 1142. Scopus:2-s2.0-84964501696, DOI: 10.1109/TEMC.2016.2548783
17. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.T. Time-domain response of asymmetrical modal filter without resistors to ultrashort pulse excitation, 17-th

- International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2016: Conference Proceedings. Novosibirsk State Technical University, 2016. pp. 85-88. DOI: 10.1109/EDM.2016.7538699
18. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. Simulation of asymmetrical modal filter with different segmentation 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Russia, Moscow, 2016. pp.1-4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491751
19. Gromakov E.I., Gazizov A.T., Lukin V.P. and Chimrov A.V. Comparative analyses of different variants of standard ground for automatic control systems of technical processes of oil and gas production [Electronic resources] // Journal of Physics: Conference Series, Volume 803, Number 1 - p. 2-7. - Mode of access: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012052/pdf>
20. А.Т. Газизов, А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов Разложение сверхкороткого импульса в структурах с лицевой связью // Известия вузов. Физика. – 2017. – Том 60. № 3. – С. 70–75.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2006. 18 с.
2. ГОСТ Р 52863-2007. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям.
3. Акбашев Б.Б. Информационная безопасность специальных технических зданий при электромагнитных воздействиях: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 2009. – 37 с.
4. Газизов Т.Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях и влияний преднамеренных силовых электромагнитных воздействий: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Томск, 2010. 44 с.
5. Гизатулин Р.М. Помехоустойчивость и информационная безопасность вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электропитания: монография / Р.М. Гизатуллин, З.М. Гизатуллин. –Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – 142 с.
6. Петкау О. Электромагнитная уязвимость транспортной инфраструктуры / Петкау О., Тарабцев А., Дерябин А., Ларионов С., Чванов В. // Транспортная безопасность и технологии. 2014. №4(39). С. 72-75.
7. Решение III Всероссийской конференции «Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса» – 2014, 4 декабря 2014 года, (г. Москва, «Президент-Отель»)
8. ГОСТ Р 56115-2014. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Средства защиты от преднамеренных силовых электромагнитных воздействий. Общие требования.
9. ГОСТ Р 51275-2007. Защита информации. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2007. 11 с.
10. Сухоруков С. А., Горячевский В. В. Исследования функционирования СФТИ на устойчивость к преднамеренным силовым воздействиям. Часть 4.

- Высоковольтные однократные наносекундные импульсы напряжения. Степень жесткости испытаний I // Технологии электромагнитной совместимости, 2011. №2. С. 8–17.
11. ЗАО «ЭМСОТЕХ». Фильтр подавления сверхширокополосных импульсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emcotec.ru/catalog/fpsi> – 24.02.2017.
12. Заболоцкий А.М. Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата: монография / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2013. – 150 с.
13. Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. Experimental results on UWB pulse propagation in low-voltage power cables with different cross sections. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. Vol. 54, no. 1, February 2012. P. 229–231.
14. Gazizov T.R., Samotin I.E., Zabolotsky A.M., Melkozerov A.O. Design of printed modal filters for computer network protection. Proc. of 30-th Int. conf. on lightning protection. Sept. 13–17, 2010. Cagliari, Italy. P. 1246-1–1246-3.
15. Gazizov T.R., Zabolotsky A.M., Samotin I.E., Melkozerov A.O. Simple and free mitigation of short pulse lightning effects by flat power cables. Proc. of 30-th Int. conf. on lightning protection. Sept. 13–17, 2010. Cagliari, Italy. P. 993-1–993-3.
16. Официальный сайт системы TALGAT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://talgat.org>. – 29.03.2017
17. A.R. Djordjevic., T.K. Sarkar, R.F. Harrington // Proc. of the IEEE, Vol. 75, No. 6, pp. 743–764 (1987).
18. J.R. Griffith, M.S. Nakhla // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 38, P. 1480 (1990).
19. T.R. Gazizov // Russian Physics Journal, vol. 47, p. 326, 2004.
20. M.R. Scheinfein, O.A. Palusinski // Trans. of SCS, vol.4, no 3, pp. 187-254, July 1987.
21. Djordjevich, A.R., Biljic, R.M., Likar-Smiljanic, V.D., Sarkar, T.K.: Wideband frequency-domain characterization of FR-4 and time-domain causality. IEEE

- Trans. on Electromagnetic Compatibility, Issue 4, Volume 43, 662--666 (2001).
doi: 10.1109/15.974647
22. R. R. Akhunov, S. P. Kuksenko, T. R. Gazizov "Multiple solution of linear systems, using an iterative method with adaptive recomputation of a preconditioner" // Computational mathematics and mathematical physics, August 2016, Volume 56, Issue 8, pp 1382–1387
23. Duffy A.P., Gang Z., Koziel S., Lixin W. "Objective selection of minimum acceptable mesh refinement for emc simulations" // IEEE Trans. on EMC, 2015. V. 57, №5. – P. 1266–1269]
24. A.M. Zabolotsky, A.T. Gazizov Simulation of ultrawide band pulse propagation in asymmetrical modal filter for power network protection // Int. Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, 2015, vol. 9, pp. 68-74.
25. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
26. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
27. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
28. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
29. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
30. СанПиН П2.04.03-95 Нормы проектирования. Канализация. Наружные сети и сооружения
31. Охрана окружающей среды/Под ред. С.В.Белова. – М.: Высшая школа, 1991
32. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.
33. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

34. Технический регламент «о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс]: Единая справочная служба Консорциума «Кодекс». – Режим доступа: свободный. Ссылка доступа: <http://ezproxy.ha.tpu.ru:2065/docs/>
35. Безопасность жизнедеятельности. Учебник. Под ред. Э.А. Арустамова / 10-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во «Дашков и К°», 2006. — 476 с.
36. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
37. Назаренко, Ольга Брониславовна. Безопасность жизнедеятельности : учебное пособие / О. Б. Назаренко, Ю. А. Амелькович; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 3-е изд., перераб. и доп. — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — 177 с.
38. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
39. ГОСТ 17.4.3.04-85 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения»