

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра
Нано – и микроэлектроника
наименование кафедры

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02. 11.03.04. 012 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Разработка программного обеспечения для проектирования тонкопленочных конденсаторов
тема бакалаврской работы

Студент группы 19ПД1
номер группы

Малышев С.А.
подпись, дата 15.06.23 фамилия, иниц.

Руководитель доцент кафедры
должность

Головяшкин А.Н.
подпись, дата 16.06.23 фамилия, иниц.

НиМЭ ПГУ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

Рыжова Т.Н.
подпись, дата 16.06.23 фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 15.06.23 № 11)

Заведующий кафедрой

Пронин И.А.
подпись, дата 16.06.23 фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой отл. (протокол ГЭК от 26.06 № 8)

Секретарь ГЭК

Вольсков А.А.
подпись, дата 26.06.23 фамилия, иниц.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка состоит из 50 страниц, 21 рисунок, 3 таблицы, списка использованных источников из 10 наименований и 4 приложений.

Ключевые слова: тонкоплёночный конденсатор, программное обеспечение, изготовление конденсаторов, материалы конденсаторов, подгоночные секции, размеры конденсаторов, удельная ёмкость, относительное отклонение номинального значения ёмкости.

Цель: разработать программное обеспечение для расчёта и проектирования тонкоплёночных высокоточных конденсаторов.

Задачи:

1. Провести анализ сред разработки программного обеспечения.
2. Провести анализ критериев выбора оптимального материала для изготовления тонкоплёночного конденсатора.
3. Разработать алгоритм расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы
4. Разработать алгоритм последующего расчёта параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой, на основе конденсатора простой формы.
5. Разработать программное обеспечение для проектирования тонкоплёночных конденсаторов.
6. Сделать полное описание готовой программы.

Актуальность данной темы заключается в том, что для расчёта и проектирования тонкоплёночного конденсатора высокой точности вручную, понадобится много времени. Программа будет анализировать, рассчитывать и проектировать конденсаторы, с абсолютно разными параметрами, моментально.

Объект исследования: тонкоплёночный конденсатор.

Предмет исследования: параметры тонкоплёночного конденсатора.

Полученные результаты: разработан алгоритм для расчета параметров тонкоплёночных конденсаторов и на основе алгоритмов написана программа для расчёта конденсаторов высокой точности.

					ПГУ 2. 11.03.04. 012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		2

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Анализ сред разработки программного обеспечения.....	7
2 Материалы для изготовления тонкоплёночных конденсаторов	12
3 Разработка алгоритма расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы.	17
3.1 Исходные данные для расчёта конденсатора простой формы.	17
3.2 Алгоритм и расчет минимальной толщины диэлектрика, проверка возможности изготовления конденсатора с заданными параметрами	17
3.3 Алгоритм и расчет удельной ёмкости конденсатора	19
3.4 Алгоритм и расчет размеров конденсатора, проверка допустимости расчётов.....	20
4 Алгоритм и расчет параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой	23
4.1 Алгоритм и расчет количества подгоночных секций	23
4.2 Алгоритм и расчет удельной ёмкости	23
4.3 Алгоритм и расчет размеров конденсатора и подгоночных секций	24
5 Описание программы.....	28
5.1 Общие сведения и функциональное назначение	28
5.2 Описание логической структуры	29
5.3 Входные и выходные данные. Описание интерфейса.....	34
6 Расчёт контура заземления установки лазерной подгонки типа МЛ5-2	42
6.1 Лазерная установка ЛиА МЛ5-2.....	42
6.2 Защитное заземление	43
6.3 Исходные данные устройства и расчет его контура заземления	45
Заключение	50
Список использованных источников	51
Приложение А. Техническое задание на ВКР.....	52
Приложение Б. Программа расчета параметров конденсатора в среде программирования Visual Studio	56

Приложение В. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ».....	73
Приложение Г. Презентация.....	77

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной темы заключается в том, что для расчёта и проектирования тонкоплёночного конденсатора высокой точности вручную, понадобится много времени. Программа будет анализировать, рассчитывать и проектировать конденсаторы, с абсолютно разными параметрами, моментально.

Цель: разработать программное обеспечение для расчёта и проектирования тонкоплёночных высокоточных конденсаторов.

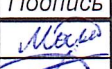
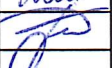
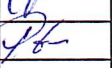
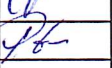
Задачи:

1. Провести анализ сред разработки программного обеспечения.
2. Провести анализ критериев выбора оптимального материала для изготовления тонкоплёночного конденсатора.
3. Разработать алгоритм расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы
4. Разработать алгоритм последующего расчёта параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой, на основе конденсатора простой формы.
5. Разработать программное обеспечение для проектирования тонкоплёночных конденсаторов.
6. Сделать полное описание готовой программы.

Объект исследования: тонкоплёночный конденсатор.

Предмет исследования: параметры тонкоплёночного конденсатора.

Полученные результаты: разработан алгоритм для расчета параметров тонкоплёночных конденсаторов и на основе алгоритмов написана программа для расчёта конденсаторов высокой точности.

					ПГУ.2. 11.03.04. 012 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВВЕДЕНИЕ	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Малышев С.А.							
Провер.		Головяшкин А.Н.					5	50	
						гр. 19ПД1			
Н. Контр.		Рыжова Т.Н.		16.06					
Утверд.									

Тонкопленочные конденсаторы являются распространенными элементами тонкопленочных интегральных микросхем, которые были изобретены в 1745 году и с тех пор служат портативными устройствами хранения электрического заряда. В течение 19 века постепенно формировалось общее понимание электромагнетизма. Электронные устройства и схемы были впервые разработаны в начале 20-го века и к его концу произвели революцию в генерировании, обработке, хранении и передаче информации. Редкой является электронная схема, в которой не используется хотя бы один конденсатор.

Мерой емкости является фарад (F) - очень большая величина, которая редко требуется, практические значения варьируются от пикофарад (pF) до нанофарад (nF) и микрофарад (μF). В цифровой электронике рабочие напряжения обычно ниже 5 В, в автомобильной электронике они составляют от 12 В до 42 В, а в силовой электронике они могут достигать нескольких кВ. Свойства конденсатора зависят от геометрии конструкции и свойств диэлектрического материала и, в меньшей степени, от свойств проводящего материала его пластин и выводов.

1 Анализ сред разработки программного обеспечения

Сравнение языков программирования – частая тема для обсуждения среди инженеров-программистов. За последние несколько лет были созданы тысячи различных языков. Некоторые языки пользуются большой популярностью, а в других появляются новые функции. Каждый язык имеет свои преимущества и недостатки. В настоящей работе проводится сравнение различных свойств, парадигм и функций, используемых популярными языкам программирования: *C++*, *PHP*, *C#*, *Java*, *Python*, *VB*. При таком разнообразии языков и их широком использовании разработчики программного обеспечения и программисты должны знать о преимуществах и недостатках, которые каждый язык может привнести в их программное решение, и быть осторожными при принятии рациональных решений. Эти языки сравниваются по характеристикам возможности повторного использования, надежности, переносимости, доступности компиляторов и инструментов, удобочитаемости, эффективности, узнаваемости и выразительности. Другие критерии, такие как трудоемкость программирования, эффективность времени выполнения, потребление памяти и возможность подключения к базе данных, раскрываются путем реализации и запуска одного и того же набора программ с использованием всех изучаемых языков.

Рассмотрим плюсы и минусы популярных языков программирования.

C++ – это более простой в использовании язык программирования высокого уровня, нежели другие языки низкого уровня, например ассемблер. Несмотря на то, что *C++* занимает намного больше места, чем языки низкого уровня, он совместим с кодом *C*. Он поддерживает функцию однократной компиляции и повсеместного выполнения, которая позволяет вместе использовать общую кодовую базу различным аппаратным средствам с разными

					ПГУ.2. 11.03.04. 012 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Анализ сред разработки программного обеспечения			Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Малышев С.А.								7	51
Провер.		Головяшкин А.Н.									
Н. Контр.		Рыжова Т.Н.		16.08	гр. 19ПД1						
Утверд.											

ограничениями по ЦП и памяти. C++ отлично поддерживает: универсальное программирование, классы, структуры. Программы на C++ обладают высокой производительностью, по сравнению с другими языками программирования высокого уровня, например *CSharp* и *Java*. Поэтому они приходятся неплохими кандидатами для разработки операционных систем, драйверов устройств, интегрированного программного обеспечения, высокопроизводительным клиентским и серверным приложениям и видеоиграм.

Впрочем, одной из основных проблем в C++ остается выделение памяти. Там нет сборщика мусора, и программист вынужден убрать беспорядок после использования. Вторая проблема, которая возникает, это инструкция «*goto*». Оно плохо подходит для структурированного программирования и нарушает поток управления. Иные проблемы C++: многочисленное наследование, указатели на элементы, перегрузка операторов и синтаксис шаблона, которые нелегко читать и поддерживать. Эти недостатки вынуждают прикладывать разработчику больше усилий. Таким образом, разработчику ПО для решения вышеперечисленных проблем в коде, приходится заниматься тщательным управлением памятью.

Java является объектно-ориентированным языком программирования, большинство ошибок кодирования выявляются во время компиляции, благодаря чему время модульного тестирования существенно сокращается, и пользователю необходимо проверять только бизнес-логику. *Java* предлагает обширную общедоступную библиотеку качественных сред, поэтому для любой задачи, которая должна быть реализована с использованием *Java* у пользователя есть полная свобода выбора.

Благодаря всем вышеперечисленным сильным сторонам *Java*, её широко применяется при разработке преимущественно веб-приложений или обычных приложений. *Java* вдобавок часто используется в сфере образования для

обучения программированию в колледжах и университетах, потому *Java* является замечательным языком ООП.

Самый важный недостаток заключается в том, что он не является языком, исполняемым по умолчанию, следовательно его производительность несколько ниже по сравнению с другими языками, исполняемыми по умолчанию, такими как *C++*, *C*. Размер используемой памяти *Java* также несколько велик, следовательно, из-за вышеперечисленных недостатков *Java* не подходит для систем реального времени.

Python в основном используется в качестве языка сценариев, используемого при разработке автономных приложений, которые разрабатываются на языках со статической типизацией, из-за гибкости, которую он обеспечивает благодаря своей динамической типизированной природе. *Python* способствует быстрой разработке приложений, что позволяет использовать его для прототипирования. В определенной степени *Python* также используется при разработке веб-сайтов. Из-за динамической типизации и наличия виртуальной машины возникают значительные накладные расходы, что приводит к гораздо меньшей производительности по сравнению с родными языками программирования. И, следовательно, он не подходит для приложений реального времени/ встроенных приложений.

Когда разрабатывался *C#*, одной из его целей было извлечь выгоду из сильных сторон и избежать слабых сторон других существующих языков программирования, таких как *Java* и *C++*. *C#* – это эффективный язык программирования, который повышает производительность программиста за счет упрощения процесса разработки и снижения вероятности возникновения наиболее частых ошибок программирования. Этот язык сочетает в себе и уравнивает все самое замечательное в двух мирах языков программирования *Java* и *C /C++*. Тот факт, что он имеет синтаксис и грамматику, сходные с языками программирования *C++* и *Java*, облегчает и

ускоряет его изучение и внедрение. Поскольку язык программирования C# был представлен после введения многих важных веб-стандартов, таких как *HTML*, *XML* и *SOAP*, он был разработан с учетом необходимости поддержки.

Одной из основных проблем, решаемых C#, является межъязыковая совместимость, известная также как программирование на смешанных языках. Это взаимодействие между различными фрагментами кода, написанными в разных программах. Языки – это очень важная функция, которая крайне желательна или даже необходима при внедрении больших распределенных систем. Такая функция также важна в случае реализации портативных программных компонентов многократного использования, которые могут использоваться как можно большим количеством языков программирования и в большом количестве операционных сред.

К сожалению, C# по-прежнему непригоден для использования при разработке приложений, требующих больших затрат времени, или когда требуется действительно высокая производительность. Даже несмотря на то, что такие приложения редки в области разработки по сравнению с другими приложениями это заметное ограничение языка программирования C#. Среди огромных возможностей и функциональности, предоставляемых C#, он по-прежнему страдает от нехватки ключевых средств, необходимых для разработки высокопроизводительных и критически важных по времени приложений, таких как указание встроенных функций и деструкторов таким образом, чтобы они гарантированно запускались в определенные моменты.

Несмотря на то, что *Visual basic* генерирует много автоматизированного кода, который затрудняет понимание разработчиком. *Visual basic (Vb.net)* – это проприетарный язык программирования, написанный *Microsoft*, поэтому программа, написанная на *visual basic*, не может быть легко перенесена на другой язык.

Vb.net обеспечивает богатую поддержку графического интерфейса пользователя и концепций ООП, что делает его конкурентоспособным языком для разработки интерактивного приложения. *VB.net* имеет стиль интерфейса *Morden*, который придает разработчику хороший и простой вид при разработке приложения. Он использует статическую проверку типов, которая анализирует исходный код и выдает ошибку, подобную немедленной синтаксической ошибке, например, пропущенные символы, использование неправильных ключевых слов. Возможность компиляции и запуска с помощью *IDE*. Он обладает возможностями настройки, которые позволяют пользователю полностью настраивать внешний вид *IDE*. Одним из интересных преимуществ *VB* является его простота. Это простой в изучении язык. *VB* – это язык, использующий компонентную объектную модель *Microsoft*, которая позволяет легко подключать к программе любую системную часть.

Исходя из удобства использования, многофункционального интерфейса и других плюсов данного языка, описанных выше, языком для написания программы был выбран *C#*.

2 Материалы для изготовления тонкоплёночных конденсаторов

Тонкоплёночные конденсаторы являются вторыми по распространению после резисторов в устройствах электронной и микросистемной техники. Они также активно используются в тонкоплёночных ИС и МСБ. На их основе изготавливаются ёмкостные фотоприёмники и чувствительные элементы ёмкостных датчиков давления, перемещения, ускорения и позиционирования. Их нередко используют и в различных устройствах охранной сигнализации. Тонкоплёночные конденсаторы должны обладать высокой стабильностью электрической ёмкости во времени и в заданном интервале температур (или стабильной зависимостью электрической ёмкости от температуры), низкими значениями тангенса угла диэлектрических потерь, малыми значениями паразитных параметров, высокими значениями удельной ёмкости и рабочими напряжениями, а также высоким электрическим сопротивлением и минимальной занимаемой площадью.

Ёмкость тонкоплёночных конденсаторов определяется площадью перекрытия его обкладок (активной площадью или площадью верхней обкладки). Типовая конструкция плёночного конденсатора показана на рисунке 2.1.

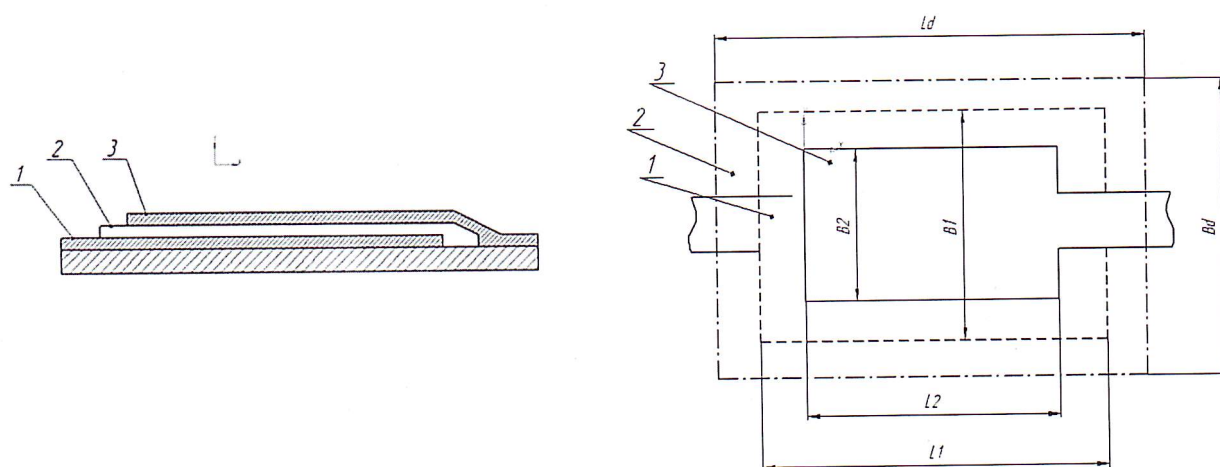


Рисунок 2.1 – Конструкция плёночного конденсатора

					ПГУ.2. 11.03.04. 012 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<div>Материалы для изготовления тонкоплёночных конденсаторов</div> <div>Лит. Лист Листов</div> <div>12 50</div> <div>гр. 19ПД1</div>		
Разраб.	Малышев С.А.						
Провер.	Головяшкин А.Н.						
Н. Контр.	Рыжова Т.Н.			16.06			
Утверд.							

На рисунке 2.1 под цифрой 1 изображена нижняя обкладка, а под цифрой 2 – диэлектрик. Под цифрой 3 – верхняя обкладка.

Но нас интересуют тонкоплёночные конденсаторы высокой точности, для их проектирования используют несколько методов подгонки.

Иногда применяется метод подгонки с помощью импульсного разряда, который выжигает слабые точки (поры, газовые включения) в изоляционной пленке и тем самым уменьшает общую ёмкость конденсатора.

В настоящее время, как и для резисторов, подгонка номинала тонкоплёночных конденсаторов осуществляется лазерным излучением.

Поскольку глубина поглощения лазерного излучения металлической пленкой может быть небольшой, принципиально возможно испарение верхней обкладки конденсатора без повреждения диэлектрической плёнки.

Если производить испарение всех трех слоев конденсатора, возникает опасность закорачивания верхней и нижней обкладки по торцу на границе выжигаемой плёнки. В обоих случаях требуется точный подбор режимов излучения, что и усложняет применение этих элементов. Эта задача упрощается, если применять специальные конструкции подгоняемых конденсаторов.

При небольших номиналах используют прожигание узких полосок в проводящей плёнке при котором получают так называемые щелевые конденсаторы малой ёмкости, изображенные на рисунке 2.2. Такая конструкция подразумевает плавную подгонку номинала причём, в отличие от всех других подгоняемых элементов, в сторону увеличения.

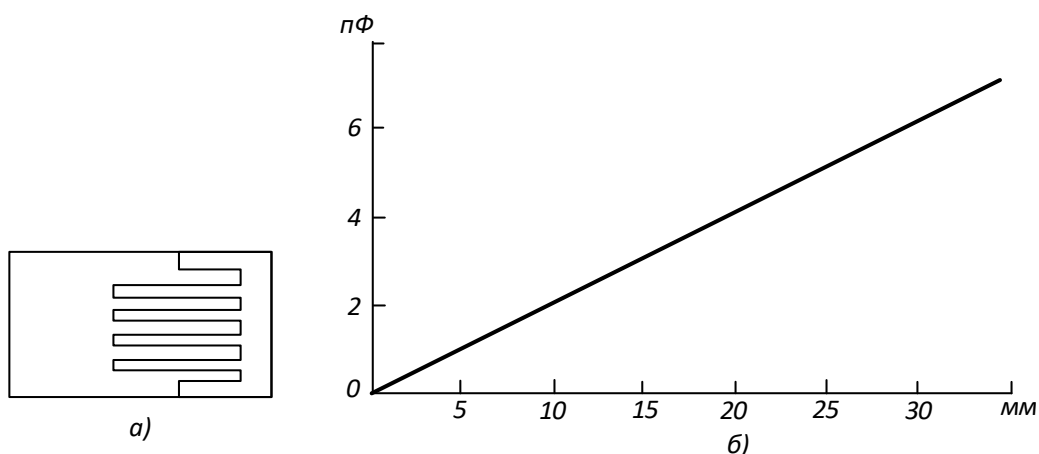


Рисунок 2.2 – Щелевой конденсатор

Где под а – схема конденсатора, а под б – зависимость ёмкости конденсатора от длины зазора.

При использовании линейной зависимости ёмкости щелевого конденсатора от длины зазора (при постоянной ширине зазора), возможно обеспечивать не только получение конденсатора заданной ёмкости, но и его подгонку во время настройки схемы.

Чаще всего используют конструкции подгоняемых конденсаторов, представленные на рисунке 2.3. Где под буквами а, б изображена подгонка путём отрезания подгоночных секций. А под в – подгонка путём перепайки подгоночных секций.

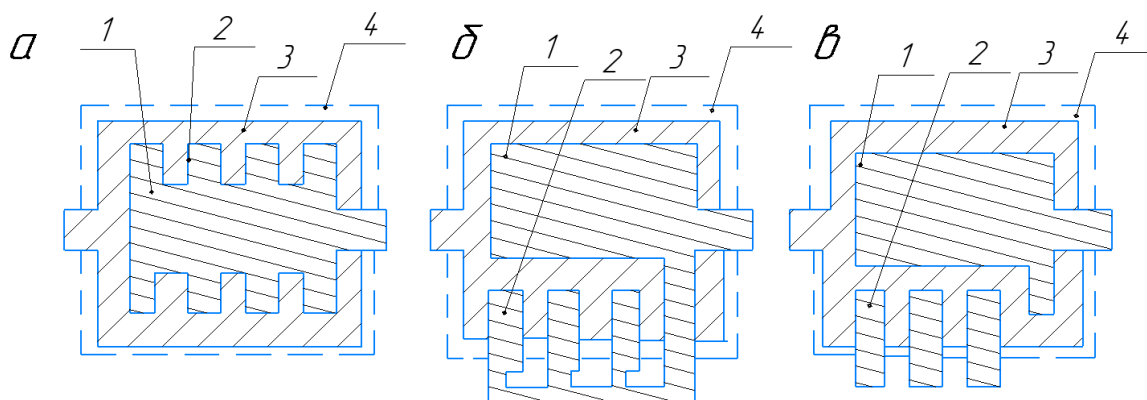


Рисунок 2.3 – Конструкции подгоняемых плёночных конденсаторов

Где под цифрами: 1 – верхняя обкладка; 2 – подгоночные секции; 3 – нижняя обкладка; 4 – диэлектрик.

Все характеристики тонкоплёночных конденсаторов (ёмкость, рабочее напряжение, температурный коэффициент ёмкости, частотные свойства и размеры) зависят от выбранных материалов.

Материалы для изготовления диэлектрических плёнок конденсаторов должны обладать следующими свойствами:

- максимальное значение относительной диэлектрической проницаемости, удельного электрического сопротивления и электрической прочности;
- низкие значения тангенса угла диэлектрических потерь и температурного коэффициента ёмкости (ТКЕ или ТКС);

- высокое значение рабочей частоты;
- минимальную гигроскопичность;
- хорошую адгезию к материалам подложки и обкладок;
- минимальное значение коэффициента старения.

Для изготовления тонкоплёночных конденсаторов с ёмкостью 10-1000 пФ широко используют боросиликатное стекло, моноокись германия и кремния, электровакуумные стекла С41-1 и С44-1, позволяющее изготавливать конденсаторы с ёмкостью до 10000 пФ. В микросхемах, изготавливаемых по танталовой технологии, в качестве диэлектрика используется пятиокись тантала; при этом удастся получить ёмкость до 0,1 мкф.

Характеристики некоторых диэлектрических материалов тонкоплёночных конденсаторов приведены в таблице 2.1.

Обкладки конденсаторов должны иметь высокую проводимость, коррозионную стойкость, технологическую совместимость с материалом подложки и диэлектрика конденсатора: ТКЛР, близкие к ТКЛР подложки и диэлектрика, хорошую адгезию к подложке и диэлектрику, высокую механическую прочность.

Наилучшим материалом для обкладок конденсаторов является алюминий, который, однако, имеет плохую адгезию к подложке. Для предотвращения отслаивания нижней обкладки вначале напыляют подслои титана или ванадия. Верхняя обкладка, напыляемая на диэлектрик, не требует подслоя. Применение золота для обкладок не рекомендуется из-за высокой подвижности атомов и возможной диффузии сквозь диэлектрик, приводящей к короткому замыканию обкладок.

Таблица 2.1 – Основные параметры материалов тонкоплёночных конденсаторов

Материал диэлектрика	Материал обкладок	Удельное сопротивление обкладок, Ом/см	Удельная ёмкость C_0 , пФ/см ²	Электр.прочность $E_{пр.} \cdot 10^6$ В/см ²	Диэлектрическая проницаемость ϵ	$tg \delta$ $f=1кГц$	Рабочая частота, МГц	ТКЕ $\cdot 10^{-4}$ 1/град в интервале температур -60° - +125°С	Коэффициент старения 1/час $\cdot 10^{-6}$
Монокристалл кремния (ГОСТ 5.634-70)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	5000-10000	2-3	5,0-6,0	0,01-0,02	500	3,5	1
Монокристалл германия (ГОСТ 19602-74)			5000-15000	10	11-12	0,005-0,007	500	1,5	0.5
Боросиликатное стекло (ЕТО.035 и 15 ТУ)			2500-15000	3-4	4	0,001-0,0015	300	4	1.7
Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)			4000 - 30000	3-4	5,2	0,003	300	4	4
Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)			20000 - 40000			0,002-0,003	300	1,5	4
Ta ₂ O ₅ (электрохимическое анодирование)	Тантал ТВЧ (РЭТУ 1244-67), нижняя обкладка	1-100	10000-60000	4,0-4,5	23	0,02-0,03	10	4	3
	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64), верхняя обкладка	0,2	5000-30000	2-3	10-11	0,01-0,02	0,1	4	3

3 Разработка алгоритма расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы.

3.1 Исходные данные для расчёта конденсатора простой формы.

Для написания программы, необходимо для начала разработать алгоритм расчёта параметров тонкоплёночного конденсатора. Для того, чтобы конденсатор обладал как можно меньшими габаритными размерами. Необходимо подобрать оптимальный материал диэлектрика, который должен обладать: высокой диэлектрической проницаемостью, электрической прочностью, а также малыми значениями $tg\delta$ и температурного коэффициента ёмкости (ТКЕ).

С учётом всех изложенных выше рекомендаций из таблицы 2.1 был выбран материал диэлектрика – моноокись германия. Его параметры: $\epsilon = 11.5$; $tg\delta_{\text{диэл}}=0.006$; $E_{\text{пр}}=10^7$ В/см; $\text{ТКЕ}=1.5 \cdot 10^{-4}$ 1/°С, $\gamma_{\text{с0}}=10\%$, $\rho_s = 0.2$ Ом.

После того как материал был выбран, необходимо определить исходные параметры для расчёта подгоняемого конденсатора, среди таких параметров: номинальная ёмкость C , пФ; рабочее напряжение $U_{\text{раб}}$, В; рабочая частота f , МГц; относительное отклонение номинального значения ёмкости для конденсатора простой формы $\gamma_{\text{с1}}$, %; относительное отклонение номинального значения ёмкости для конденсатора с дискретной подгонкой $\gamma_{\text{с}}$, %, тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$, максимальная рабочая температура T_{max} .

Для примерного расчёта конденсатора возьмём следующие значения:

$C = 680$ пФ, $\gamma_{\text{с1}}=15\%$, $\gamma_{\text{с}}=5\%$, $U_{\text{раб}} = 5$ В, $f=1$ кГц, $tg\delta=0.03$, $T_{\text{max}}=125^\circ\text{C}$.

3.2 Алгоритм и расчет минимальной толщины диэлектрика, проверка возможности изготовления конденсатора с заданными параметрами

Необходимо рассчитать минимальную толщину диэлектрика d_{min} и удельную емкость C_{0V} для обеспечения необходимой электрической прочности находим по формулам (3.1) и (3.2):

					ПГУ.2. 11.03.04. 012 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Малышев С.А.			Разработка алгоритма расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Головяшкин А.Н.					17	51
Н. Контр.		Рыжова Т.Н.		16.06		гр. 19ПД1		
Утверд.								

$$d_{min} \geq \frac{K_3 \cdot U_{раб}}{E_{пр}} \quad (3.1)$$

где K_3 – коэффициент запаса, для плёночных конденсаторов равен 2; $U_{раб}$ – рабочее напряжение конденсатора, В; $E_{пр}$ – электрическая прочность, В/см

$$d_{min} = \frac{2 \cdot 5}{10^6} = 0.01 \text{ мкм.}$$

Так как конструкторско-технологическая минимальная толщина диэлектрика равна 0.1 мкм, далее в расчётах $d_{min} = 0.1 \text{ мкм.}$

$$C_{0V} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon}{d_{min}}, \quad (3.2)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная, равная $8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$; ε – диэлектрическая проницаемость, равная 11.5.

$$C_{0V} = \frac{8.85 \cdot 10^{-3} \cdot 11.5}{1 \cdot 10^{-4}} = 1017.8 \text{ пФ/мм}^2$$

Относительная температурная погрешность рассчитывается по формуле (3.3):

$$\gamma_{Ct} = \text{ТКС} \cdot (T_{max} - 20^\circ\text{C}) \cdot 100\% \quad (3.3)$$

Расчет относительной температурной погрешности осуществляется, используя формулу (3.3):

$$\gamma_{Ct} = 1.5 \cdot 10^{-4} \cdot (125 - 20) \cdot 100\% = 1.6\%$$

Допустимая погрешность площади конденсатора рассчитывается по формуле (3.4):

$$\gamma_{S_{доп}} = \gamma_{C1} - \gamma_{C0} - \gamma_{Ct} - \gamma_{Cст} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

Расчет допустимой погрешности площади конденсатора осуществляется, используя формулу (3.4):

$$\gamma_{S_{доп}} = 0.15 - 0.1 - 0.016 - 0.01 \cdot 100\% = 2.43\%$$

$2.4\% > 0$, это значит, что изготовление конденсатора из данного материала с заданной точностью возможно.

Всегда при проектировании конденсаторов сначала проектируют обкладки квадратной формы, потому что относительная погрешность активной площади конденсатора (площади перекрытия обкладок) γ_s минимальна. Отклонение контура верхней обкладки от квадрата сопровождается увеличением γ_s . Но при отсутствии места на чертеже топологии для расположения квадрата вычисляют размеры обкладок прямоугольной формы.

Поэтому на данном этапе выберем квадратную форму обкладок конденсатора, $K_\phi = 1$.

3.3 Алгоритм и расчет удельной ёмкости конденсатора

Необходимо рассчитать удельную емкость с учетом точности изготовления, которую можно определить по формуле (3.5):

$$C_{0\text{точн}} = C \left(\frac{\gamma_s \text{ доп}}{2 \cdot \Delta L} \right)^2 \quad (3.5)$$

где $\Delta L = 0,01$ мм – погрешность длины при изготовлении конденсаторов масочным методом.

Расчет минимальной удельной емкости можно осуществить, используя формулу (3.5):

$$C_{0\text{точн}} = 680 \cdot 10^{-12} \left(\frac{0.074}{2 \cdot 0.01} \right)^2 = 9309 \text{ пФ/мм}^2$$

Необходимо определить, каково должно быть значение удельной емкости, при котором конденсатор будет занимать минимальную площадь на подложке по формуле (3.6):

$$C_{0\text{min}} = C_0 S_{\text{min}}, \quad (3.6)$$

где S_{min} – минимальная площадь подложки, равная 1 мм^2 .

Расчет удельной емкости, при котором конденсатор будет занимать минимальную площадь на подложке осуществляется, используя формулу (3.6):

$$C_{0\text{min}} = 100 \cdot 1 = 100 \text{ пФ}$$

Необходимо выбрать минимальное значение удельной емкости конденсатора, используя формулу (3.7):

$$C_0 \leq \min[C_{0\min}, C_{0V}, C_{0\text{точн}}] \quad (3.7)$$

Используя формулу (3.7), осуществим выбор: $C_0 = 100$ пФ.

3.4 Алгоритм и расчет размеров конденсатора, проверка допустимости расчётов.

Далее необходимо провести проверку значения толщины выбранного диэлектрика, используя формулу (3.8):

$$d = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{C_0} \quad (3.8)$$

Подставив в формулу (3.8), найдём значения толщины диэлектрика:

$$d = \frac{11.5 \cdot 8.85 \cdot 10^{-3}}{100} = 1.02 \text{ мкм}$$

Расчет коэффициента, учитывающего краевой эффект осуществляется с помощью формулы (3.9):

$$K = \begin{cases} 1; C / C_0 \geq 5 \text{ мм}^2 \\ 1,3 - 0,06 \cdot C / C_0; 1 \leq C / C_0 < 5 \text{ мм}^2 \end{cases} \quad (3.9)$$

Расчет коэффициента, учитывающего краевой эффект происходит, используя формулу (3.9):

$C/C_0 = 6.8$, значит краевой коэффициент будет рассчитываться по первой формуле.

$$K = 1$$

Площадь верхней обкладки конденсатора рассчитывается по формуле (3.10):

$$S = \frac{C}{C_0 \cdot K} \quad (3.10)$$

Расчет площади верхней обкладки конденсатора осуществляется, используя формулу (3.10):

$$S = \frac{680 \cdot 10^{-12}}{100 \cdot 10^{-12} \cdot 1} = 6.8 \text{ мм}^2$$

Определение размеров верхней обкладки осуществляется по формуле (3.11):

$$L = B = \sqrt{S} \quad (3.11)$$

Расчет размеров верхней обкладки происходит по формуле (3.11):

$$L = B = \sqrt{6.8} = 2.608 \text{ мм}$$

Для удобства округлим значения: $L = B = 2.6 \text{ мм}$.

Определение размеров нижней обкладки с учетом допуска на перекрытие $q = 0.2 \text{ мм}$ осуществляется с помощью формулы (3.12):

$$L_H = B_H = L + 2q \quad (3.12)$$

Расчет размеров нижней обкладки с учетом допуска на перекрытие осуществляется, используя формулу (3.12):

$$L_H = B_H = L + 2q = 2.6 + 2 \cdot 0.2 = 3 \text{ мм}$$

Размеры диэлектрика с учетом допуска на перекрытие $f = 0.1 \text{ мм}$:

$$L_D = B_D = L_H + 2f = 3.2 \text{ мм} \quad (3.13)$$

Площадь, занимаемая конденсатором:

$$S_D = L_D \cdot B_D = 10.24 \text{ мм}^2. \quad (3.14)$$

Далее производится проверка расчетов конденсатора:

а) рабочий тангенс угла диэлектрических потерь не должен превысить заданный формулой (3.15):

$$\text{tg} \delta \geq \text{tg} \delta_{\text{раб}} \quad (3.15)$$

Пренебрегая сопротивлением выводов обкладок, мы можем представить рабочий тангенс угла в виде суммы тангенсов углов потерь в диэлектрике $\text{tg} \delta_{\text{диэ}}$ и в обкладках $\text{tg} \delta_{\text{об}}$ по формуле (3.16):

$$\delta_{\text{раб}} = \text{tg} \delta_{\text{диэ}} + \text{tg} \delta_{\text{об}} \quad (3.16)$$

Значение $\text{tg} \delta_{\text{диэ}}$ определяется по таблице 2.1 для выбранного материала диэлектрика. А тангенс угла потерь в обкладках находят по формуле (3.17)

$$\delta_{\text{об}} = \frac{2}{3} \cdot \omega \cdot R_{\text{об}} \cdot C, \quad (3.17)$$

$$\text{где } R_{\text{об}} = \rho_s S_{\text{об}} K_{\phi}, \quad (3.18)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (3.19)$$

Подставив значения в формулы (3.15) – (3.19), сравним рабочий тангенс угла диэлектрических потерь с заданным $\operatorname{tg}\delta$:

$$\begin{aligned}\omega &= 2 \cdot 3.14 \cdot 1000 = 6280 \\ R_{об} &= 0.02 \cdot 10.24 \cdot 1 = 0.205 \\ \operatorname{tg} \delta_{об} &= \frac{2}{3} \cdot \omega \cdot R_{об} \cdot C = \frac{2}{3} \cdot 6280 \cdot 0.205 \cdot 680 \cdot 10^{-12} = 5.836 \cdot 10^{-7} \\ \operatorname{tg} \delta_{раб} &= \operatorname{tg} \delta_{диз} + \operatorname{tg} \delta_{об} = 0,006 + 5.836 \cdot 10^{-7} = 0.006 \\ 0.03 &\geq 0.006\end{aligned}$$

б) погрешность активной площади конденсатора не должна превышать допустимую по формуле (3.20):

$$\gamma_{s_{раб}} \leq \gamma_{s_{доп}} \quad (3.20)$$

, где

$$\gamma_{s_{раб}} = \Delta L \cdot \frac{1 + K_{\phi}}{\sqrt{K_{\phi} \cdot S_{\min}}} \quad (3.21)$$

Подставляем значения в формулу (3.21):

$$\gamma_{s_{раб}} = 0.01 \cdot \frac{1+1}{\sqrt{1 \cdot 1}} = 0.02$$

Далее проверим правильно ли спроектирован конденсатора, подставив полученные значения в формулу (3.20):

$$0.02 \leq 0.024$$

Так как, погрешность активной площади конденсатора не превышает допустимую по формуле (3.20), считать конденсатор спроектированным верно.

4 Алгоритм и расчет параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой

4.1 Алгоритм и расчет количества подгоночных секций

После окончания расчёта конденсаторов простой формы, нам необходимо рассчитать тонкоплёночный конденсатор высокой точности с относительным отклонением номинального значения ёмкости γ_C , равному 5%.

Расчёт таких конденсаторов начинается с определения количества подгоночных секций по формуле (4.1):

$$n = \frac{\gamma_{C_0} + \gamma_s}{\gamma_C - \gamma_{C_{\text{ст}}}}, \quad (4.1)$$

$$\gamma_s = \frac{\Delta L}{\sqrt{S}} \left(\sqrt{K_{\Phi}} + \frac{1}{\sqrt{K_{\Phi}}} \right) \quad (4.2)$$

где

Для начала найдём относительную погрешность активной площади плёночного конденсатора по формуле (4.2):

$$\gamma_s = \frac{0.01}{\sqrt{6.8}} \cdot \left(\sqrt{1} + \frac{1}{\sqrt{1}} \right) = 0.77\%$$

Далее по формуле (4.1) найдём количество секций:

$$n = \frac{10 + 0.77}{5 - 1} = 2.69$$

Округлим $n=3$.

4.2 Алгоритм и расчет удельной ёмкости

Так как у нас задано номинальное значение C с полем допуска γ_C , то значение минимальной ёмкости будет рассчитываться по формуле (4.3):

$$C_{\min} = C - \Delta C = C \left(1 - \frac{\gamma_C}{100\%} \right) \quad (4.3)$$

$$C_{\min} = 680 \cdot \left(1 - \frac{0.05}{100\%} \right) = 646 \text{ пФ}$$

					ПГУ.2. 11.03.04. 012 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Малышев С.А.			Алгоритм и расчет параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Головяшкин А.Н.					23	51
Н. Контр.		Рыжова Т.Н.		16.06		гр. 19ПД1		
Утверд.								

Далее обратимся к формуле (3.2) и получим новое значение, подставив d рассчитанную в формуле (3.8):

$$C_{0V} = \frac{8.85 \cdot 10^{-3} \cdot 11.5}{0.00102} = 100 \text{ пФ/мм}^2$$

Так как у нас появились подгоночные секции, чтобы найти удельную емкость, обусловленную ограничением минимальной площади, нам понадобится новая формула (4.4).

$$C_{0\min} = \frac{C}{3(2n-1)} \quad (4.4)$$

$$C_{0\min} = \frac{680}{3(2 \cdot 3 - 1)} = 45.3 \text{ пФ/мм}^2$$

После выполненных расчётов, нам необходимо выбрать минимальное значение из $C_{0\min}$ и C_{0V} , которое и будет расчётным значением удельной ёмкости C_0 .

$$C_0 = 45.3 \text{ пФ/мм}^2$$

С учётом поля допуска на технологическое воспроизведение удельной ёмкости диэлектрической плёнки минимальное значение C_0 определим по формуле (4.5).

$$C_0^{\min} = C_0 \left(1 - \frac{\gamma_{C_0}}{100\%}\right) \quad (4.5)$$

$$C_0^{\min} = 45.3 \cdot \left(1 - \frac{10\%}{100\%}\right) = 40.77 \text{ пФ/мм}^2$$

4.3 Алгоритм и расчет размеров конденсатора и подгоночных секций

Площадь верхней обкладки вместе с подгоночными секциями определяется по формуле (4.6).

$$S_{\max} = \frac{C_{\min}}{C_0^{\min}} \quad (4.6)$$

$$S_{\max} = \frac{646}{40.77} = 15.9 \text{ мм}^2$$

А максимально возможная ёмкость конденсатора высчитывается по формуле (4.7).

$$C_{\max}' = S_{\max} C_0^{\max}, \quad (4.7)$$

где

$$C_0^{\max} = C_0 \left(1 + \frac{\gamma_{C_0}}{100\%}\right) \quad (4.8)$$

$$C_0^{\max} = 45.3 \cdot \left(1 + \frac{10\%}{100\%}\right) = 49.87 \frac{\text{пФ}}{\text{мм}^2}$$

$$C_{\max}' = 15.9 \cdot 49.87 = 789.56 \text{ пФ}$$

Таким образом, величина ёмкости, которую необходимо скорректировать, находится по формуле (4.9).

$$\Delta C = C_{\max}' - C_{\max}, \quad (4.9)$$

где $C_{\max} = C + \Delta C = C \cdot \left(1 + \frac{\gamma_C}{100\%}\right)$ (4.10)

$$C_{\max} = 680 \cdot \left(1 + \frac{5\%}{100\%}\right) = 714 \text{ пФ}$$

$$\Delta C = 789.56 - 714 = 75.56 \text{ пФ}$$

Величину ёмкости одной подгоночной секции можно вычислить по формуле (4.11).

$$C_c = \frac{\Delta C}{n} \quad (4.11)$$

$$C_c = \frac{75.56}{3} = 25.18 \text{ пФ}$$

Площадь одной секции конденсатора сложной формы находится по формуле (4.12).

$$S_c = \frac{C_c}{C_0^{\max}} \quad (4.12)$$

$$S_c = \frac{25.18}{49.87} = 0.505 \text{ мм}^2$$

Так как минимально допустимая конструкторско-технологическая площадь равна 1 мм^2 , увеличим значение площади одной секции конденсатора S_c до 1 мм^2 .

Площадь основной обкладки нерегулируемой части конденсатора определяется соотношением (4.13):

$$S_{\text{осн}} = S_{\text{max}} - n \cdot S_c \quad (4.13)$$

$$S_{\text{осн}} = 15.9 - 3 \cdot 1 = 12.9 \text{ мм}^2$$

Размеры сторон верхней обкладки конденсатора определяются формулами (4.14) и (4.15):

$$L_1 = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{2}\right)^2 \cdot (1 + K_\phi)^2 + S_{\text{осн}} \cdot K_\phi} - \frac{\Delta L}{2} (1 + K_\phi) \quad (4.14)$$

$$B_1 = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{2}\right)^2 \cdot \frac{(1 + K_\phi)^2}{K_\phi^2} + \frac{S_{\text{осн}}}{K_\phi}} - \frac{\Delta L}{2} (1 + K_\phi) \quad (4.15)$$

Подставив значения в формулы (4.14) и (4.15), получим значения:

$$L_1 = \sqrt{\left(\frac{0.01}{2}\right)^2 \cdot (1+1)^2 + 12.9 \cdot 1} - \frac{0.01}{2} (1+1) = 3.572 \text{ мм}$$

$$B_1 = \sqrt{\left(\frac{0.01}{2}\right)^2 \cdot \frac{(1+1)^2}{1^2} + \frac{12.9}{1}} - \frac{0.01}{2} (1+1) = 3.572 \text{ мм}$$

Площадь верхней обкладки одной секции находится по формуле (4.16)

$$S_1 = \frac{S_{\text{max}} - S_{\text{осн}}}{n} \quad (4.16)$$

$$S_1 = \frac{15.83 - 12.83}{3} = 1 \text{ мм}^2$$

Чтобы определить размер секции, вернёмся к формуле (3.11), но вместо S , подставим S_1 .

$$L_c = B_c = \sqrt{S_1}$$

$$L_c = B_c = \sqrt{1} = 1 \text{ мм}$$

Округлим значения L_c и B_c до 1 мм.

Размер нижней обкладки подгоняемого конденсатора определяется по формуле (4.17).

$$L_H = B_H = L_l + L_c \cdot 2/m, \quad (4.17)$$

где

$$m = \begin{cases} 1; n \geq 5 \\ 2; n < 5 \end{cases} \quad (4.18)$$

Так как у нас $n=3$, из формулы (4.18) следует, что $m=2$.

Для расчёта длины и ширины нижней обкладки конденсатора подставим полученные значения в формулу (4.17).

$$L_H = B_H = 3.572 + 1 \cdot 2/2 = 4.57 \text{ мм}$$

Далее размеры диэлектрика высокоточного конденсатора и его площадь определяются по формулам (3.13) – (3.14).

Размеры диэлектрика с учетом допуска на перекрытие $f = 0.1 \text{ мм}$:

$$L_D = B_D = L_H + 2f = 4.57 + 2 \cdot 0.1 = 4.77 \text{ мм}$$

Площадь, занимаемая конденсатором:

$$S_D = L_D \cdot B_D = 4.77 \cdot 4.77 = 22.75 \text{ мм}^2.$$

5 Описание программы

5.1 Общие сведения и функциональное назначение

В данном разделе приведено описание программы «*ThinFilmCapacitorDesign.exe*», предназначенной для расчёта параметров тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой. Для функционирования данной программы необходима предустановленная программная платформа *.NET Framework* версии 6.0.

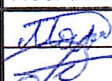
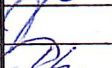
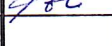
Исходным языком программы «*ThinFilmCapacitorDesign.exe*» является *CSharp*. Среда разработки и компилятор - *Microsoft Visual Studio*.

Основной функцией программы является расчёт параметров конденсатора исходя из заданных параметров, который вводит пользователь. К таким параметрам относятся: материал (часто используемые материалы внесены в программу заранее) и исходные параметры конденсатора.

В программе была специально создана база данных, в которой хранятся наименования и параметры материалов, пользователь всегда может при необходимости добавить свой собственный материал, даже после перезагрузки программы новый материал останется в таблице.

Так же была создана папка «*source*», в которой находятся готовые эскизы тонкоплёночных конденсаторов с дискретной подгонкой. Всего таких изображений – десять. Так как, обычно подобные конденсаторы имеют от одного до десяти подгоночных секций.

Таким образом, после того как пользователь вводит все параметры, программа автоматически рассчитывает размеры тонкоплёночного конденсатора, и выводит на экран эскиз, тем самым экономя достаточно много времени пользователю.

					ПГУ.2. 11.03.04. 012 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Описание программы	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Малышев С.А.							
Провер.		Головяшкин А.Н.					28	51	
Н. Контр.		Рыжова Т.Н.		16.08		гр. 19ПД1			
Утверд.									

5.2 Описание логической структуры

После того, как все параметры были заданы, а материал выбран, остаётся только нажать кнопку рассчитать.

После нажатия кнопки происходит расчёт, в первую очередь рассчитывают минимальную толщину диэлектрика d_{min} и проверяют её на конструкторско-технологическую возможность реализации:

```
double dmin = Kz * (Urab / ElectricStrength);  
if (dmin < 0.1)  
{  
    dmin = 0.1;  
}
```

Удельная ёмкость C_{0V} :

```
double C0v = (DielectricPermittivity * epsil0 * Math.Pow(10, 3)) / dmin;
```

Относительная температурная погрешность γ_{Ct} :

```
double YCt = TKE * (Tmax - 20) * 100;
```

Далее происходит проверка возможности проектирования конденсатора на основании заданных параметров, рассчитывают допустимую погрешность площади:

```
double Ysdop = (Yc1 - Yc0 - YCt - Ycstar);  
if (Ysdop < 0)  
{  
    MessageBox.Show("Допустимая погрешность площади  
конденсатора меньше нуля! Необходимо выбрать другой материал или  
увеличить значение относительного отклонения номинального значения ёмкости  
для конденсатора простой формы ", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK,  
MessageBoxIcon.Error);  
    return; // Прерывание выполнения метода  
}
```

При условии, что $\gamma_{Sдоп}$ будет > 0 , рассчитываем удельную ёмкость с учетом точности изготовления:

```
double C0to4n = C * Math.Pow(((Ysdop / 100) / (2 * deltaL)), 2);
```

Так же рассчитываем значение удельной емкости:

```
double C0min = CapacitanceDensity * Smin;
```

После того, как все 3 ёмкости были рассчитаны, необходимо выбрать минимальную из них для последующих расчётов:

```
double C0 = Math.Min(C0v, Math.Min(C0min, C0to4n));
```

Значение толщины выбранного диэлектрика определим:

```
double d = epsilon0 * DielectricPermittivity / C0;
```

Затем, необходимо рассчитать коэффициент, учитывающий краевой эффект и при условии, если он будет меньше нуля, оповестить пользователя о том, что с заданными параметрами невозможно создать конденсатор:

```
double K = 0;
```

```
if ((C / C0) >= 5)
```

```
{
```

```
    K = 1;
```

```
}
```

```
else if ((C / C0) < 5 && (C / C0) >= 1)
```

```
{
```

```
    K = 1.3 - 0.06 * (C / C0);
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
    MessageBox.Show("Краевой эффект меньше единицы!
```

```
Невозможно спроектировать конденсатор! Необходимо выбрать другой материал или увеличить номинальную ёмкость", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
```

```
return; // Прерывание выполнения метода
```

Рассчитываем размеры верхней обкладки конденсатора простой формы:

```
double S = C / (C0 * K);
```

```
double L = Math.Round(Math.Sqrt(S), 1);
```

double B = L;

Размеры нижней обкладки, диэлектрика и площади, занимаемой конденсатором:

double Ln = L + 2 * q;

double Bn = Ln;

double Ld = Ln + 2 * f;

double Bd = Ld;

double Sd = Ld * Bd;

Далее следует проверка:

double w = 2 * 3.14 * Frab;

double tgOB = (2 / 3) * w * CoverResistivity * C * Math.Pow(10, -12);

double tgRAB = TgDelta + tgOB;

if (tgdelta < tgRAB)

{

MessageBox.Show("Рабочий тангенс угла диэлектрических потерь превышает заданный!", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);

return; // Прерывание выполнения метода

}

double Ysrab = deltaL * ((1 + Kf) / Math.Sqrt(Kf * Smin));

if (Ysdop <= Ysrab)

{

MessageBox.Show("Погрешность активной площади конденсатора превышает допустимую!", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);

return; // Прерывание выполнения метода

}

При несоответствии рабочего тангенса угла диэлектрических потерь или погрешности активной площади конденсатора, пользователю уведомляют об ошибке и возвращают на начальную форму.

Находим кол-во подгоночных секции и относительную погрешность активной площади конденсатора:

```
double Ys = deltaL / Math.Sqrt(S) * (Math.Sqrt(Kf) + 1 / Math.Sqrt(Kf));
double n = Math.Ceiling((Yc0 + Ys) / (Yc - Ycstar));
```

Получим новые значения емкостей:

```
double Cmin = C * (1 - Yc / 100);
C0v = DielectricPermittivity * epsil0 / (d * Math.Pow(10, -3));
double Cmin0 = C / (3 * (2 * n - 1));
```

Нам необходимо выбрать минимальное значение из C_{0min} и C_{0v} :

```
C0 = Math.Min(C0v, Cmin0);
```

И рассчитать минимальное значение C_0 :

```
C0min = C0 * (1 - Yc0 / 100);
```

Площадь верхней обкладки вместе с подгоночными секциями:

```
double Smax = Cmin / C0min;
```

Максимально возможная ёмкость конденсатора:

```
double C0max = C0 * (1 + Yc0 / 100);
double Cmax1 = Smax * C0max;
```

Величина ёмкости, которую необходимо скорректировать:

```
double Cmax = C * (1 + Yc / 100);
double deltaC = Cmax1 - Cmax;
```

Величина ёмкости одной подгоночной секции:

```
double Cc = deltaC / n;
```

Площадь одной секции конденсатора:

```
double Sc = Cc / C0max;
```

```
if (Sc < 1) { Sc = 1; }
```

При условии, если площадь одной секции меньше 1 мм², из конструкторско-технологических соображений необходимо взять $S=1$ мм².

Площадь основной обкладки нерегулируемой части конденсатора:

```
double Sosn = Smax - n * Sc;
```

Размеры сторон верхней обкладки конденсатора:

```
double L1 = Math.Round(Math.Sqrt(((deltaL / 2) * (deltaL / 2)) * (1 + Kf) * (1 + Kf) + Sosn * Kf - deltaL / 2 * (1 + Kf), 2);
```

```
double B1 = Math.Round(Math.Sqrt(((deltaL / 2) * (deltaL / 2)) * ((1 + Kf) * (1 + Kf)) / (Kf * Kf) + Sosn / Kf) - (deltaL / 2) * (1 + Kf), 2);
```

Площадь верхней обкладки одной секции:

```
double S1 = (Smax - Sosn) / n;
```

Размеры секции:

```
double L2 = Math.Sqrt(S1);
```

```
double B2 = Math.Round(L2, 2);
```

Размер нижней обкладки подгоняемого конденсатора

```
double m = 0;
```

```
if (n >= 5)
```

```
{
```

```
    m = 1;
```

```
}
```

```
else if (n < 5 && n >= 1)
```

```
{
```

```
    m = 2;
```

```
}
```

```
double Ln1 = L1 + L2 * 2 / m;
```

```
double Bn1 = Ln1;
```

Размеры диэлектрика высокоточного конденсатора и его площадь:

```
double Ld1 = Math.Round(Ln1 + 2 * f, 2);
```

```
double Bd1 = Ld1;
```

```
double Skond = Math.Round(Ld1 * Bd1, 2);
```

5.3 Входные и выходные данные. Описание интерфейса

После запуска программы перед пользователем появляется самая первая форма (рисунок 5.1), которая содержит элементы управления и текстовые поля.

Главное меню

Таблица материалов

Выбранный материал: Монокись германия (ГОСТ 19602-74)

С - номинальная ёмкость (пФ)

γ_C - для конденсатора с дискретной подгонкой (%)

$U_{\text{раб}}$ - рабочее напряжение (В)

f_{max} - max рабочая частота (кГц)

$\text{tg}\delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь

T_{max} - max допустимая температура (градус)

γ_{C1} - для конденсатора простой формы (%)

Монокись германия (ГОСТ 19602-74)

Материал обкладок	Алюминий А-99 (ГОСТ10969-64)
Удельное сопротив. обкладок	0,2 Ом/см
Удельная ёмкость	100 пФ/мм ²
Электрич. прочность * 10 ⁶	10 В/см
Диэлектрич. проницаемость	11,5
$\text{tg}\delta$	0,006
Рабочая частота	500 МГц
ТКЕ	1,5*10 ⁻⁴ , 1/град

Рассчитать

Выход

Рисунок 5.1 – Главное меню

В главном меню можно увидеть 7 *TextBox*, 2 *Button*, *ComboBox* и 18 *Label*.

В *TextBox* мы вводим исходные данные, такие как: номинальная ёмкость C , пФ; относительное отклонение номинального значения ёмкости для конденсатора с дискретной подгонкой γ_C , %; рабочее напряжение $U_{\text{раб}}$, В; рабочая частота f , кГц; тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$; максимальная допустимая температура T_{max} ; относительное отклонение номинального значения ёмкости для конденсатора простой формы γ_{C1} , %.

После того, как исходные данные были внесены, нам необходимо выбрать материал. Это можно сделать двумя способами: нажав на *ComboBox*, у нас появится на выбор несколько материалов, заданных изначально. Открытие *ComboBox* изображено на рисунке 5.2.

Выбранный материал: Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)

Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70) ▾

Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)
Моноокись германия (ГОСТ 19602-74)
Боросиликатное стекло (ЕТО.035.щ15 ТУ)
Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)
Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)
Ta2O5 (электрохимическое анодирование)
Ta2O5 (электрохимическое анодирование)

Дизлектрич. проницаемость 5,5
tgδ 0,01
Рабочая частота 500 МГц
ТКЕ $3,5 \cdot 10^{-4}$, 1/град

Рисунок 5.2 – Открытие *ComboBox* 'а для выбора материала

После нажатия на необходимый нам материал, все его параметры будут указаны ниже *ComboBox* 'а, рисунок 5.3.

Выбранный материал: Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)

Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600) ▾

ий (%)

Материал обкладок: Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)
Удельное сопротив. обкладок: 0,2 Ом/см
Удельная ёмкость: 170 пФ/мм²
Электрич. прочность * 10⁶: 3,5 В/см
Дизлектрич. проницаемость: 5,2
tgδ: 0,003
Рабочая частота: 300 МГц
ТКЕ: $4 \cdot 10^{-4}$, 1/град

Рисунок 5.3 – Выбор материала в *ComboBox*

Если вдруг пользователю будет необходимо добавить свой материал, для этого ему необходимо нажать на кнопку «Таблица материалов», после нажатия перед ним откроется база данных в виде таблицы (рисунок 5.4).

Меню выбора материала

Добавить новый материал

	Id	DielectricMaterial	CoverMaterial	CoverResistivity	CapacitanceDensity	ElectricStrength	DielectricPermittivity	TgDelta	WorkingFrequency	TKE
1	1	Монокристалл кремния (ГОСТ 5.634-70)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	75	2	5,5	0,01	500	3,5
2	2	Монокристалл германия (ГОСТ 19602-74)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	100	10	11,5	0,006	500	1,5
3	3	Боросиликатное стекло (ЕТО.035.щ15 ТУ)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	90	3,5	4	0,0015	300	4
4	4	Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	170	3,5	5,2	0,003	300	4
5	5	Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	300	3,5	5,2	0,0025	300	1,5
6	6	Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	Тантал ТВЧ (РЗТУ 1244-67), нижняя обкладка	50	350	4	23	0,025	10	4
7	7	Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64), верхняя обкладка	0,2	200	2,5	11,5	0,015	0,1	4

Рисунок 5.4 – Таблица материалов

В этой открывшейся форме, пользователь может, нажав на нужный ему материал выбрать его прямо из таблицы. Если же ему необходимо добавить свой собственный, то следует нажать на кнопку «Добавить новый материал». После того, как он нажал на кнопку, перед пользователем появилось новое окно, ввода данных (рисунок 5.5).

Добавление нового материала

Материал диэлектрика

Материал обкладок

Удельное сопротивление обкладок (Ом/см)

Удельная ёмкость (пФ/мм²)

Электр.прочность *10⁶ (В/см)

Диэлектрическая проницаемость

Тангенс угла диэлектрических потерь

Рабочая частота (МГц)

ТКЕ*10⁻⁴ (1/град)

Добавить материал

Рисунок 5.5 – Форма добавления нового материала

Как видно в новом окне «Добавление нового материала», приложение предлагает нам вести данные материала, соблюдая все размерности. Среди таких параметров: материал диэлектрика, материал обкладок, удельное сопротивление обкладок, Ом/см; удельная ёмкость, пФ/мм²; электрическая прочность · 10⁶, В/см; диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, рабочая частота, МГц; температурный коэффициент ёмкости · 10⁻⁴, 1/град.

Ради примера заполним поля случайными данными (рисунок 5.6).

Добавление нового материала

Пример1

Пример 2

1

2

3

4

5

6

7

Добавить материал

Рисунок 5.6 – Добавление нового материала

После нажатия кнопки «Добавить материал», он появился в общей таблице (рисунок 5.7).

Меню выбора материала

Добавить новый материал

Id	DielectricMaterial	CoverMaterial	CoverResistivity	CapacitanceDensity	ElectricStrength	DielectricPermittivity	TgDelta	WorkingFrequency	TKE
1	Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	75	2	5,5	0,01	500	3,5
2	Моноокись германия (ГОСТ 19602-74)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	100	10	11,5	0,006	500	1,5
3	Боросиликатное стекло (ЕТО.035.щ15 ТУ)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	90	3,5	4	0,0015	300	4
4	Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	170	3,5	5,2	0,003	300	4
5	Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	300	3,5	5,2	0,0025	300	1,5
6	Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	Тантал ТВЧ (РЗТУ 1244-67), нижняя обкладка	50	350	4	23	0,025	10	4
7	Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64), верхняя обкладка	0,2	200	2,5	11,5	0,015	0,1	4
8	Пример1	Пример 2	1	2	3	4	5	6	7

Рисунок 5.7 – Добавленный новый материал в таблице

Теперь новый материал доступен для выбора не только в таблице, но ещё и в *ComboBox*'е (рисунок 5.8).

Выбранный материал: Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)

Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)

Моноокись германия (ГОСТ 19602-74)

Боросиликатное стекло (ЕТО.035.щ15 ТУ)

Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)

Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)

Ta2O5 (электрохимическое анодирование)

Ta2O5 (электрохимическое анодирование)

Пример1

tgδ 0,01

Рабочая частота 500 МГц

ТКЕ $3,5 \cdot 10^{-4}$, 1/град

Рисунок 5.8 – Добавленный новый материал в *ComboBox*

После того, как параметры и материал были выбраны, можно приступить к расчётам, но за правильностью введённых данных следит программа. Если ввести значения неправильно она уведомит пользователя.

Уведомления об ошибках могут возникать по разным причинам:

а) не верно введённые значения в поля (рисунок 5.9).

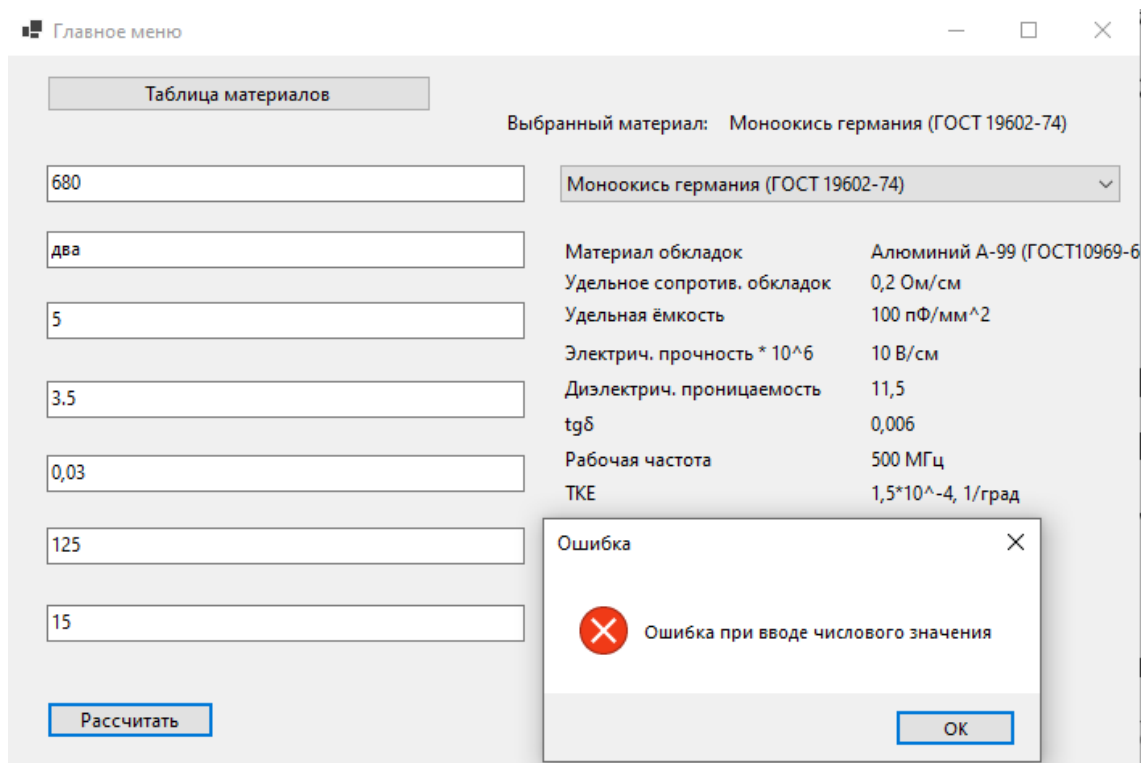


Рисунок 5.9 – Ошибка ввода данных

Тоже самое относится и к таблице добавления нового материала, ошибка изображена на рисунке 5.10.

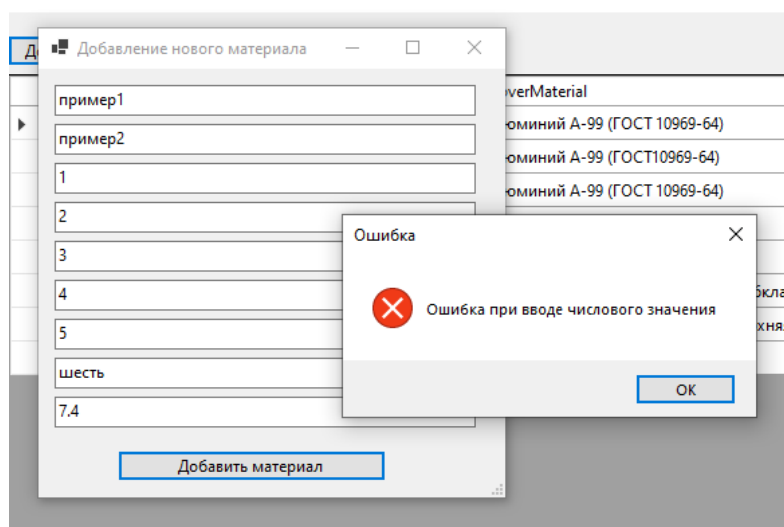


Рисунок 5.10 – Ошибка ввода данных в таблице материалов

б) не верно выбрана максимально возможная частота на рисунке 5.11.

Рисунок 5.11 – Слишком большая рабочая частота

в) допустимая погрешность площади конденсатора меньше нуля на рисунке 5.12.

Рисунок 5.12 – Допустимая погрешность площади меньше нуля

г) краевой эффект оказывается меньше единицы на рисунке 5.13

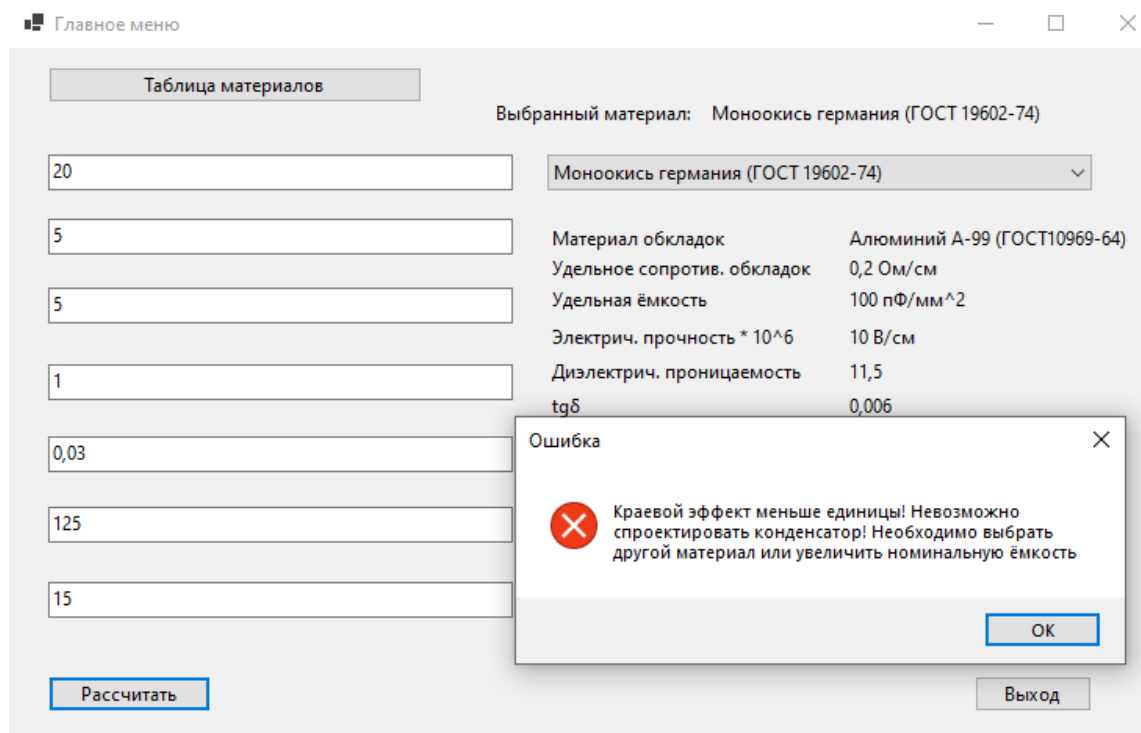


Рисунок 5.13 – Слишком маленькое значение краевого эффекта

д) Рабочий тангенс угла диэлектрических потерь превышает заданный на рисунке 5.14.

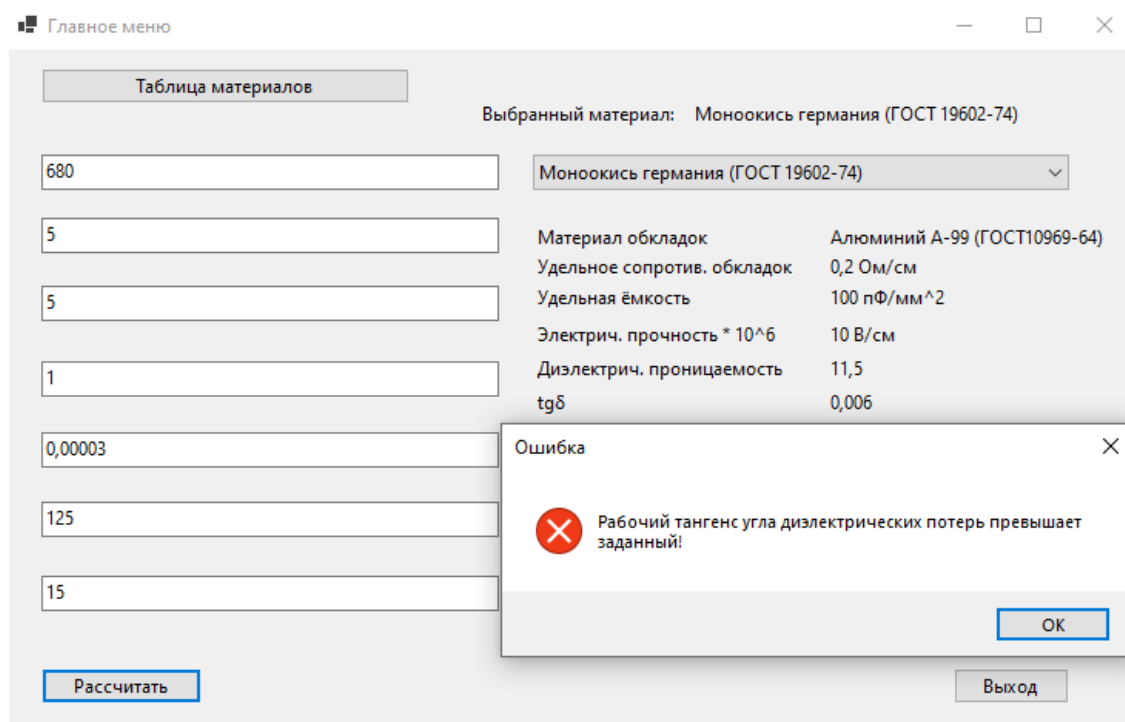


Рисунок 5.14 – Заданный тангенс угла диэлектрических потерь имеет слишком маленькое значение

е) Погрешность активной площади конденсатора превышает допустимую.

После того, как все значения введены верно и спроектировать конденсатор возможно программа открывает новое окно, изображенное на рисунке 5.15.

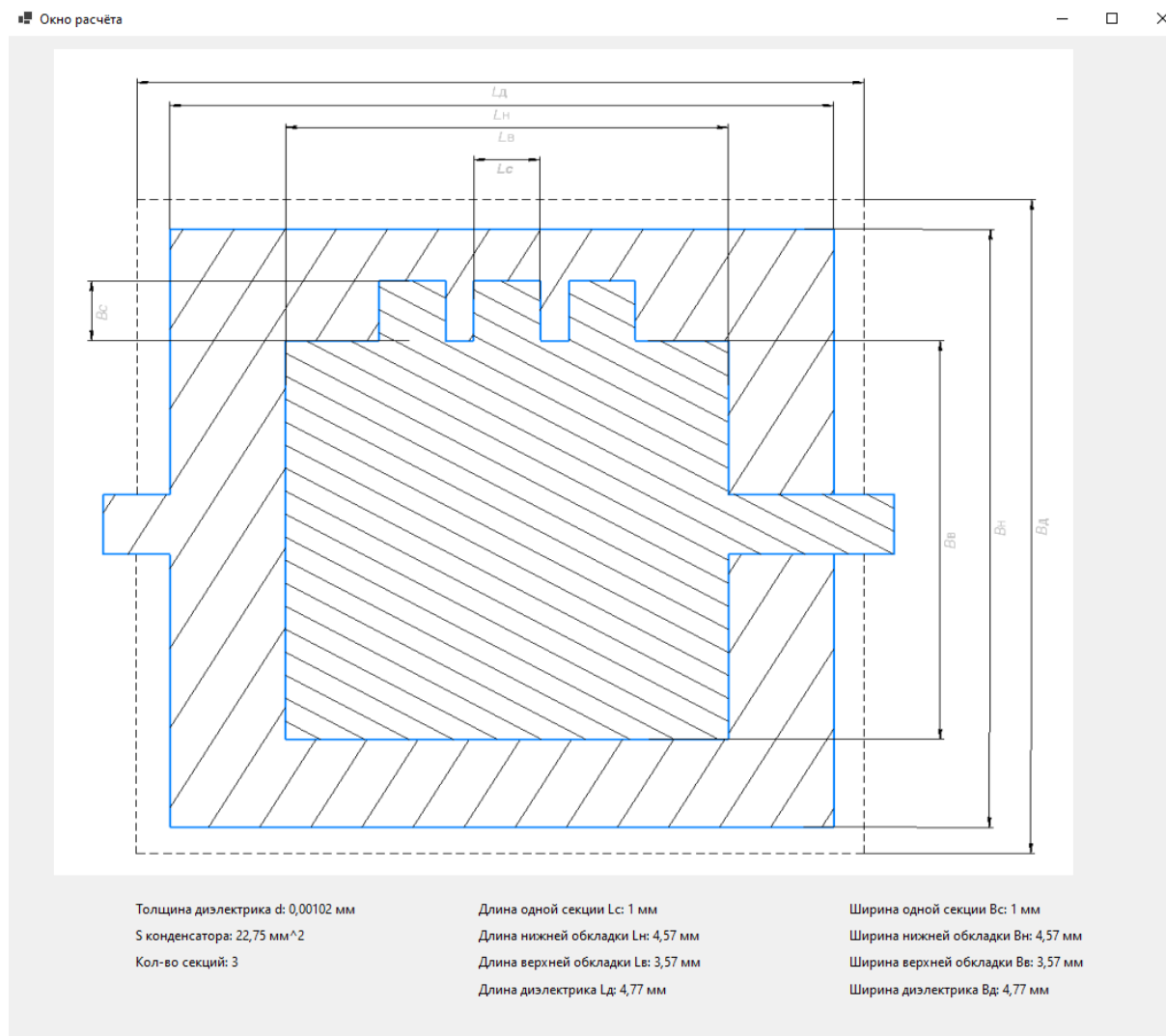


Рисунок 5.15 – Итоговый результат расчёта программы

В этом окне изображен эскиз, полученный на основании исходных данных. Как и в расчётах вручную, у нас получилось 3 секции, такая же толщина, S конденсатора и все остальные размеры, изображенные на чертеже. А следовательно программа работает корректно.

6 Расчёт контура заземления установки лазерной подгонки типа МЛ5-2

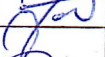
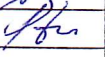
6.1 Лазерная установка ЛиА МЛ5-2

Машина лазерная для подгонки резисторов МЛ5-2 (лазерный «триммер» МЛ5-2) компании «Лазеры и аппаратура» предназначена для выполнения операций ручной, полуавтоматической и автоматической лазерной подгонки резисторов, выполненных по тонкопленочной или толстопленочной технологии на подложках из поликора, ситалла, керамики.

В отличие от «ручной» подгонки машина позволяет автоматизировать и ускорить процесс подгонки под управлением компьютера, обеспечивая автоматическое позиционирование и установку зондов на контактные площадки ГИС или подложки и автоматическую подгонку по заданным траекториям реза.

Позиционирования пятна и выполнение подгоночного реза обеспечивается прецизионной ХУ кинематической системой (координатный стол или 2-х осевой гальваносканер). Размещение и фиксация подложки осуществляется на предметном столе. Каждый из 2-х зондов устанавливается на управляемом от компьютера ХУ координатном столе с Z-микролифтом.

В машине используется иттербиевый волоконный лазер нового поколения. Измерения обеспечиваются развязанной от всех блоков Цифровой Измерительной Системой (ЦИС), выполненной на основе 14-разрядного АЦП и сигнального процессора для скоростной цифровой первичной обработки. Прикладное программное обеспечение (ПО) работает в среде Windows XP и позволяет осуществлять измерение и подгонку, загрузку, обработку и выполнение файлов-заданий (целевые номиналы резисторов и допуски, технологические параметры для лазера и сканера) и обеспечивает распечатку Протокола-отчета по подгонке в заданном формате, осуществляет контроль и самодиагностику системы в процессе работы.

					ПГУ.2. 11.03.04. 012 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Расчёт контура заземления установки лазерной подгонки типа МЛ5-2		
Разраб.		Малышев С.А.					
Провер.		Головяшкин А.Н.			Лит. Лист Листов 42 51 гр. 19ПД1		
Н. Контр.		Рыжова Т.Н.		16.06			
Утверд.							

Машина снабжена механизмами ручной подстройки положения подложки относительно лазерного пятна.

6.2 Защитное заземление

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения людей электрическим током при замыкании на корпус.

Любая установка имеет напряжение прикосновения, следовательно необходимо снизить значение этого напряжения до минимального, то есть до безопасного, в этом и заключается главный принцип защитного заземления. Заземление достигается с помощью уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также за счёт увеличения потенциала основания, на котором стоит человек, до потенциала, близкого по значению к потенциалу заземлённого оборудования.

Различают два типа заземляющих устройств:

- контурные (или распределительные).
- выносные (или сосредоточенные);

Выносное заземляющее устройство характеризуется тем, что заземлители вынесены за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточены на некоторой части этой площадки. Защитное действие выносного заземляющего устройства заключается в снижении потенциала на заземлённом оборудовании из-за перегрузки источника тока и перекоса фаз. Данный тип заземляющего устройства применяется лишь в сетях малой мощности. Преимуществом такого типа заземляющего устройства является возможность выбора места размещения электродов с наименьшим сопротивлением грунта (сырое, глинистое, в низинах и т.д.).

Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что его заземлители размещают по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, или распределяют по всей площадке по возможности равномерно. Безопасность при контурном заземлителе обеспечивается увеличением потенциала на защищаемой территории до

потенциала фазы. В результате этого напряжение прикосновения уменьшается до безопасных значений.

Согласно ПУЭ в электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом.

При суммарной мощности источников тока до 100 кВт·А, заземляющие устройства могут иметь сопротивление не более 10 Ом.

Защитному заземлению в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 подлежат металлические части электроустановок (с изолированной нейтралью), доступные для прикосновения человека и не имеющие других видов защиты, обеспечивающих электробезопасность.

Защитное заземление следует выполнять: при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока - во всех случаях; при номинальном напряжении от 42 В до 380 В переменного тока и от 110 В до 440 В постоянного тока при работах в условиях с повышенной опасностью и особо опасных по ГОСТ 12.1.013-78.

Во взрывоопасных помещениях заземление выполняется независимо от значения напряжения.

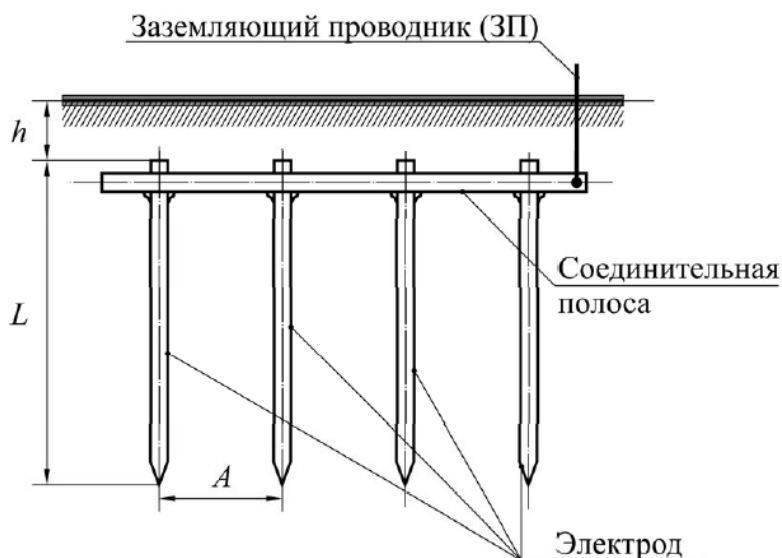
Проверка заземляющего устройства осуществляется по окончании монтажа, а затем периодически в процессе эксплуатации устройства не реже одного раза в год в период наименьшей проводимости почвы: летом – при наибольшем просыхании, а зимой - при наибольшем промерзании.

В нашем случае нужно произвести контурное заземление, которое характеризуется тем, что его заземлители размещают по периметру площадки, на которой находится лазерная установка, или будет распределяться по всей площадке по возможности равномерно.

При контурном заземлителе безопасность обеспечивается благодаря увеличением потенциала на защищаемой территории до потенциала фазы. Благодаря этому напряжение прикосновения уменьшается до безопасных значений.

					ПГУ 2. 11.03.04. 012 ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Произведем расчет заземляющего устройства, конструкция которого представлена на рисунке 6.1.



h – глубина заложения заземляющего устройства, L – длина электрода, A – расстояние между электродами

Рисунок 6.1 – Конструкция заземляющего устройства

6.3 Исходные данные устройства и расчет его контура заземления

Таблица 6.1 – Исходные данные для расчета заземляющего устройства

Наименование	Численное значение	Единица измерения
Сопротивление грунта (земля) ρ	40	Ом·м
Глубина заложения заземляющего устройства h	0.9	м
Длина электрода L	1	м
Расстояние между электродами A	3	м
Длина до середины электрода l	2	м
Диаметр электрода d (нержавеющая сталь)	$12 \cdot 10^{-3}$	м
Ширина полосы b	0.05	м

В начале необходимо произвести расчет сопротивления единичного электрода по формуле (6.1)

$$R_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l + L}{4 \cdot l - L}\right) \right) \quad (6.1)$$

Произведем расчет по формуле (6.1)

$$R_0 = \frac{40 \text{ Ом} \cdot \text{м}}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot \text{м}} \cdot \left(\ln\left(\frac{2 \cdot 1 \cdot \text{м}}{12 \cdot 10^{-3} \text{ м}}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2 \text{ м} + 1 \cdot \text{м}}{4 \cdot 2 \text{ м} - 1 \cdot \text{м}}\right) \right) = 33.37 \text{ Ом}$$

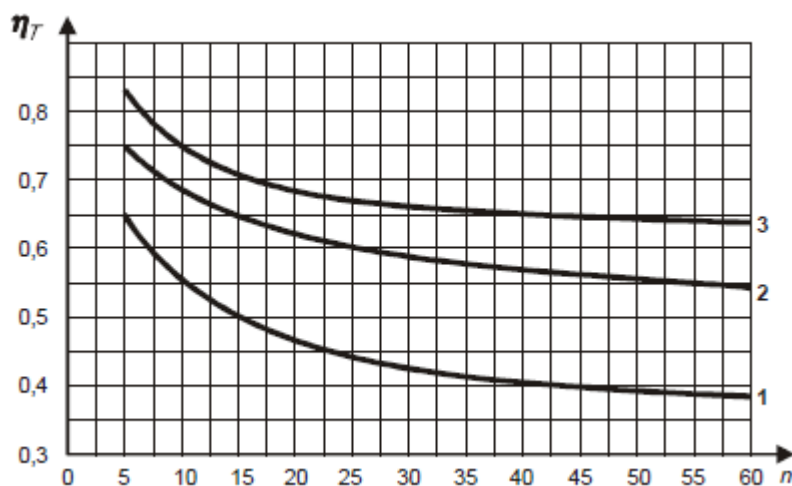
Далее рассчитаем количество одиночных, одинаковых по размерам, симметрично расположенных необъединенных вертикальных электродов. Данный расчет произведем методом последовательного приближения по формуле (6.2)

$$n = \frac{R_0 \cdot \eta_c}{R_{зд} \cdot \eta_m} \quad (6.2)$$

где η_c – коэффициент сезонности (Таблица 6.2), η_t – коэффициент экранирования вертикальных электродов (рисунок 6.2), $R_{зд}=4$ Ом – предельно допустимая величина заземляющего устройства.

Таблица 6.2 – Коэффициенты сезонности

Тип заземлителей	Глубина заложения заземлителя h , м	Коэффициент (по количеству влаги)			
			Сыро	Влажно	Сухо
Труба, угловая сталь, металлические стержни длиной 2-3 м (вертикальные заземлители)	Вертикальный конец заземлителя расположен на глубине 0,8 м от поверхности	η_c	2,0	1,5	1,4



1- $A/L=1$ 2- $A/L=2$ 3- $A/L=3$

Рисунок 6.2 – Коэффициент экранирования вертикальных электродов

Изначально берем значение $\eta_T=1$ и вычисляем значение n по формуле (6.2). Потом по рисунку (6.2) выбираем новое значение η_T и заново рассчитываем значение n по формуле (6.2). Делаем это до тех пор, пока значение $n_i - n_{i-1}$ не станет равной или меньше 1.

Произведем расчет по формуле (6.2)

$$n = \frac{33.37 O_M \cdot 1.4}{4 O_M \cdot 1} = 11.68$$

Обратимся к рисунку 6.2, чтобы выбрать новое значение η_T . $\eta_{T2}=0.79$.

Снова рассчитаем n по формуле 6.2:

$$n_2 = \frac{33.37 O_M \cdot 1.4}{4 O_M \cdot 0.79} = 14.8$$

При этом разность $n_2 - n_1 = 14.8 - 11.68 = 3.1$ значит необходимо продолжить расчет.

Обратимся к рисунку 6.2, чтобы выбрать новое значение η_T . $\eta_{T3}=0.72$.

Снова рассчитаем n по формуле 6.2:

$$n_3 = \frac{33.37 O_M \cdot 1.4}{4 O_M \cdot 0.72} = 16.22$$

При этом разность $n_3 - n_2 = 16.22 - 14.8 = 1.43$ значит необходимо продолжить расчет.

Снова обратимся к рисунку 6.2, чтобы выбрать новое значение η_T . $\eta_{T4}=0.7$.

Снова рассчитаем n по формуле 6.2:

$$n_4 = \frac{33.37 O_M \cdot 1.4}{4 O_M \cdot 0.7} = 16.685$$

При этом разность $n_4 - n_3 = 16.685 - 16.22 = 0.463$ значит можно прекратить расчет. Округлим полученное значение количества электродов до целого $n=17$.

Далее необходимо рассчитать сопротивление не объединенных в один контур вертикальных заземлителей по формуле (6.3)

$$R_{\text{сум}} = \frac{R_0 \cdot \eta_c}{n \cdot \eta_m} \quad (6.3)$$

Произведем расчет по формуле (6.3)

$$R_{\text{сум}} = \frac{33.37 \text{ Ом} \cdot 1.4}{17 \cdot 0.72} = 3.82 \text{ Ом}$$

Длина соединительной полосы определяется по формуле (6.4)

$$l_n = 1.05 \cdot A \cdot n \quad (6.4)$$

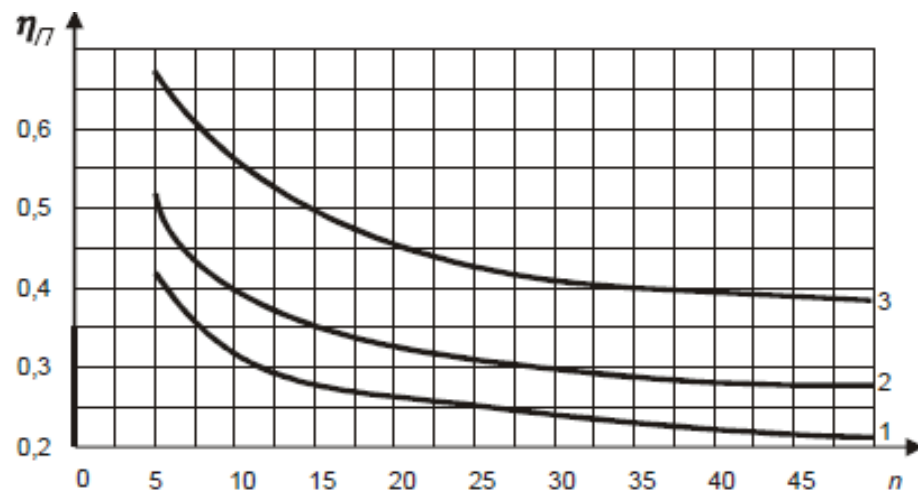
Рассчитаем по формуле (6.4) длину соединительной полосы

$$l_n = 1.05 \cdot 3 \text{ м} \cdot 17 = 50.4 \text{ м}$$

Расчет сопротивления растекания тока полосы, считая ее единичным горизонтальным заземлителем, производится по формуле (6.5)

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_n \cdot \eta_n} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot l_n^2}{b \cdot h}\right) \quad (6.5)$$

где η_n – коэффициент использования полосы (рисунок 6.3)



1- $A/L=1$ 2- $A/L=2$ 3- $A/L=3$

Рисунок 6.3 – Коэффициент использования полосы

Рассчитаем сопротивления растекания тока полосы по формуле (6.5)

$$R_n = \frac{40 \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}}{2 \cdot 3.14 \cdot 50.4 \text{ м} \cdot 0.48} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot (50.4 \text{ м})^2}{0.05 \text{ м} \cdot 0.9 \text{ м}}\right) = 3.06 \text{ Ом}$$

Итоговое сопротивление заземляющего устройства вычисляется по формуле (6.6), которое не должно быть больше, чем предельно допустимая величина заземляющего устройства.

$$R_{\text{зу}} = \frac{R_{\text{сум}} \cdot R_n}{R_{\text{сум}} + R_n} + R_{\text{зн}} \quad (6.6)$$

где $R_{зп}=0.5$ Ом - сопротивление соединяющего проводника

Рассчитаем сопротивление заземляющего устройства по формуле (6.6):

$$R_{з\gamma} = \frac{3.82 \text{ Ом} \cdot 3.06 \text{ Ом}}{3.82 \text{ Ом} + 3.06 \text{ Ом}} + 0.5 \text{ Ом} = 2.2 \text{ Ом}$$

Полученное значение не превышает значение предельно допустимой величины заземляющего устройства. Значит расчет заземляющего устройства выполнен верно [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы были достигнуты следующие результаты:

1 Проведен анализ сред разработки программного обеспечения.

2 Проведен анализ критериев выбора оптимального материала для изготовления тонкоплёночного конденсатора.

3 Разработан алгоритм расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы. Также разработан алгоритм расчёта конденсатора сложной формы. По этим алгоритмам провели расчёты.

4 Разработана программа расчёта параметров высокоточных тонкоплёночных конденсаторов.

Для того, чтобы проверить работоспособность программы, в окне ввода данных были выбраны те же значения, как и в расчётах вручную. Оказалось, что программа работает исправно, значения получаются такие же, как и при расчёте вручную. А финальный эскиз выглядит именно так, как и должен.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

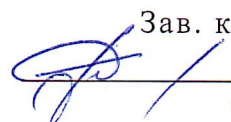
1. Тонкоплёночная электроника: учебник / А.Н. Головяшкин. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2022. – 284 с.
2. *Alomari Z. et al. Comparative studies of six programming languages //arXiv preprint arXiv:1504.00693. – 2015.*
3. Аверин И.А., Головяшкин А.Н. Физика и технология тонких плёнок: учеб. Пособие / под ред. проф. Р.М. Печерской. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2009.
4. Аношкин Ю.В., Головяшкин А.Н. Проектирование электронной компонентной базы : учеб. пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 2018.
5. Коледов Л.А. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок: учеб. пособие. М., 1989.
6. ГОСТ Р 2.105-2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. М., 2020
7. Поляков В.И., Стародубцев Э.В. Проектирование гибридных тонкоплёночных интегральных микросхем : учеб. пособие. СПб. : НИУ ИТМО, 2013.
8. Попов В.Д., Белова Г.Ф. Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных микросхем в монолитном и гибридном исполнении : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2013
9. ГОСТ 2.701-2008. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. М., 2009.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утв. приказом Министерства энергетики РФ от 13 января 2003 г. N 6).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
Техническое задание на ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 012 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

«Утверждаю»

Зав. кафедрой НиМЭ

 Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)

«08» июня 2023 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студент(ка) гр. 19ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Малышев Сергей Алексеевич

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Головяшкин Алексей Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Разработка программного обеспечения для проектирования тонкопленочных конденсаторов

Тема утверждена приказом ПГУ № 359 а/о от «04» апреля 2023 г.

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)

Анализ сред разработки программного обеспечения. Анализ критериев выбора оптимального материала для изготовления тонкопленочного конденсатора. Разработка алгоритма расчёта параметров для проектирования тонкопленочных конденсаторов простой формы. Разработка алгоритма последующего расчёта параметров высокоточного тонкопленочного конденсатора с дискретной подгонкой, на основе конденсатора простой формы. Разработать программное обеспечение для проектирования тонкопленочных конденсаторов. Описание программы.

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1 Анализ сред разработки программного обеспечения

2 Материалы для изготовления тонкопленочных конденсаторов

3 Разработка алгоритма расчёта параметров для проектирования тонкопленочных конденсаторов простой формы.

3.1 Исходные данные для расчёта конденсатора простой формы

3.2 Алгоритм и расчет минимальной толщины диэлектрика, и проверка возможности изготовления конденсатора с заданными параметрами

3.3 Алгоритм и расчет удельной ёмкости конденсатора

3.4 Алгоритм и расчет размеров конденсатора, проверка допустимости расчётов.

4 Алгоритм и расчет параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой

4.1 Алгоритм и расчет количества подгоночных секций

4.2 Алгоритм и расчет удельной ёмкости

4.3 Алгоритм и расчет размеров конденсатора и подгоночных секций

5 Описание программы

5.1 Общие сведения и функциональное назначение

5.2 Описание логической структуры

5.3 Входные и выходные данные. Описание интерфейса.

6 Расчёт контура заземления установки лазерной подгонки типа МЛ5-2

5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)

1. Титульный слайд Слайд 1

2. Цели и задачи исследования Слайд 2

3. Анализ сред разработки программного обеспечения Слайд 3

4. Материалы для изготовления тонкоплёночных конденсаторов Слайд 4

5. Алгоритм расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы Слайд 5,6

6. Алгоритм и расчет параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой Слайд 7-9

7. Обзор интерфейса программы Слайд 10-15

8. Расчёт контура заземления установки лазерной подгонки типа МЛ5-2 Слайд 16

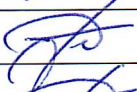
9. Выводы Слайд 17

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1. _____

Консультант _____

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Анализ сред разработки программного обеспечения	10%	09.06.23	
Материалы для изготовления тонкоплёночных конденсаторов	15%	10.06.23	
Разработка алгоритма расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы	15%	11.06.23	
Разработка алгоритма расчёта параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой	25%	12.06.23	
Описание программы	10%	13.06.23	
Расчёт контура заземления установки лазерной подгонки типа МЛ5-2	10%	13.06.23	
Иллюстративная часть	10%	14.06.23	
Разработка ТЗ на ВКР	5%	14.06.23	

Руководитель бакалаврской работы


подпись

Головяшкин А.Н.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«8» июня 2023 г.

Задание к исполнению принял


подпись

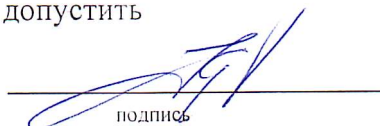
Малышев С.А.

фамилия, инициалы

«8» июня 2023 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета


подпись

Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

«20» июня 2023 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Программа расчета параметров конденсатора
в среде программирования Visual Studio

					ПГУ 2. 11.03.04. 012 ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Form 1:

```
using System.Data;
using System.Data.Entity.Core.Common.CommandTrees.ExpressionBuilder;

namespace ThinFilmCapacitorDesign
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        //ВВОДИТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ
        private double C;
        private double Yc;
        private double Urab;
        private double Frab;
        private double tgdelta;
        private double Yc1;
        private double Tmax;

        //Материал
        long id;
        string DielectricMaterial;
        string CoverMaterial;
        double CoverResistivity;
        double CapacitanceDensity;
        double ElectricStrength;
        double DielectricPermittivity;
        double TgDelta;
        double WorkingFrequency;
        double TKE;

        //КОНСТАНТЫ
        double Yc0 = 10;
        double Kz = 2;
        double epsil0 = 8.85 + Math.Pow(10, -3);
        double deltaL = 0.01;
        double Smin = 1;
        double Ycstar = 1;
        double Kf = 1;
        double q = 0.2;
        double f = 0.1;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            DatabaseManager databaseManager = new DatabaseManager();
        }
    }
}
```

```

        databaseManager.CreateDatabase();
    }

    private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        textBox1.PlaceholderText = "С - номинальная ёмкость (пФ)";
        textBox2.PlaceholderText = "γС - для конденсатора с дискретной
подгонкой (%)";
        textBox3.PlaceholderText = "Uраб - рабочее напряжение (В)";
        textBox4.PlaceholderText = "fmax - max рабочая частота (кГц)";
        textBox5.PlaceholderText = "tgδ - тангенс угла диэлектрических потерь";
        textBox6.PlaceholderText = "γС1 - для конденсатора простой формы (%)";
        textBox7.PlaceholderText = "Tmax - max допустимая температура
(градус)";

        // Создание экземпляра DatabaseManager
        DatabaseManager dbManager = new DatabaseManager();
        // Получение всех данных из таблицы
        DataTable dataTable = dbManager.GetAllData();

        // Проверка наличия данных
        if (dataTable.Rows.Count > 0)
        {
            // Проход по данным и добавление их в comboBox
            foreach (DataRow row in dataTable.Rows)
            {
                string dielectricMaterial = row["DielectricMaterial"].ToString();

                // Добавление значения в comboBox
                comboBox1.Items.Add(dielectricMaterial);
            }

            // Установка выбранного элемента
            comboBox1.SelectedIndex = 0;
        }

        // Установка предустановленного текста в comboBox
        comboBox1.Text = "Выберите материал";

        // Блокировка comboBox для предотвращения редактирования
        comboBox1.DropDownStyle = ComboBoxStyle.DropDownList;

        // Привязка события SelectedIndexChanged
        comboBox1.SelectedIndexChanged += comboBox1_SelectedIndexChanged;
    }

```

```

    }

    private void Refresh_ComboBox()
    {
        comboBox1.Items.Clear(); // Удаление всех элементов списка

        // Создание экземпляра DatabaseManager
        DatabaseManager dbManager = new DatabaseManager();
        // Получение всех данных из таблицы
        DataTable dataTable = dbManager.GetAllData();

        // Проверка наличия данных
        if (dataTable.Rows.Count > 0)
        {
            // Проход по данным и добавление их в comboBox
            foreach (DataRow row in dataTable.Rows)
            {
                string dielectricMaterial = row["DielectricMaterial"].ToString();

                // Добавление значения в comboBox
                comboBox1.Items.Add(dielectricMaterial);
            }
        }
    }

    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        try
        {
            C = double.Parse(textBox1.Text);
            Yc = double.Parse(textBox2.Text);
            Urab = double.Parse(textBox3.Text);
            Frab = double.Parse(textBox4.Text);
            tgdelta = double.Parse(textBox5.Text);
            Yc1 = double.Parse(textBox6.Text);
        }
        catch (FormatException)
        {
            MessageBox.Show("Ошибка при вводе числового значения",
                "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
            return; // Прерывание выполнения метода
        }
    }

```

```

// Создаем экземпляр Form3
Form3 form3 = new Form3();

TKE *= Math.Pow(10, -4);
WorkingFrequency *= Math.Pow(10, 6);
Frab *= Math.Pow(10, 3);

if (WorkingFrequency < Frab)
{
    MessageBox.Show("Заданная максимальная рабочая частота
превышает рабочую частоту материала!", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error);
    return; // Прерывание выполнения метода
}

double dmin = Kz * (Urab / ElectricStrength);
if (dmin < 0.1)
{
    dmin = 0.1;
}

double C0v = (DielectricPermittivity * epsil0 * Math.Pow(10, 3)) / dmin;
double YCt = TKE * (Tmax - 20) * 100;

double Ysdop = (Yc1 - Yc0 - YCt - Ycstar);
if (Ysdop < 0)
{
    MessageBox.Show("Допустимая погрешность площади конденсатора
меньше нуля! Необходимо выбрать другой материал или увеличить значение
относительного отклонения номинального значения ёмкости для конденсатора
простой формы", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
    return; // Прерывание выполнения метода
}

double C0to4n = C * Math.Pow(((Ysdop / 100) / (2 * deltaL)), 2);

double C0min = CapacitanceDensity * Smin;
double C0 = Math.Min(C0v, Math.Min(C0min, C0to4n));
double d = epsil0 * DielectricPermittivity / C0;
d *= Math.Pow(10, -3);
d = Math.Round(d, 5);

double K = 0;

```

```

if ((C / C0) >= 5)
{
    K = 1;
}
else if ((C / C0) < 5 && (C / C0) >= 1)
{
    K = 1.3 - 0.06 * (C / C0);
}
else
{
    MessageBox.Show("Краевой эффект меньше единицы! Невозможно спроектировать конденсатор! Необходимо выбрать другой материал или увеличить номинальную ёмкость", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
    return; // Прерывание выполнения метода
}

double S = C / (C0 * K);
double L = Math.Round(Math.Sqrt(S), 1);
double B = L;

double Ln = L + 2 * q;
double Bn = Ln;

double Ld = Ln + 2 * f;
double Bd = Ld;
double Sd = Ld * Bd;

double w = 2 * 3.14 * Frab;
double tgOB = (2 / 3) * w * CoverResistivity * C * Math.Pow(10, -12);
double tgRAB = TgDelta + tgOB;
if (tgdelta < tgRAB)
{
    MessageBox.Show("Рабочий тангенс угла диэлектрических потерь превышает заданный!", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
    return; // Прерывание выполнения метода
}

double Ysrab = deltaL * ((1 + Kf) / Math.Sqrt(Kf * Smin));
if (Ysdop <= Ysrab)
{

```

```

        MessageBox.Show("Погрешность активной площади конденсатора
превышает допустимую!", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error);

```

```

        return; // Прерывание выполнения метода
    }

```

```

double Ys = deltaL / Math.Sqrt(S) * (Math.Sqrt(Kf) + 1 / Math.Sqrt(Kf));
double n = Math.Ceiling((Yc0 + Ys) / (Yc - Ycstar));

```

```

double Cmin = C * (1 - Yc / 100);
C0v = DielectricPermittivity * epsil0 / (d * Math.Pow(10, -3));
double Cmin0 = C / (3 * (2 * n - 1));
C0 = Math.Min(C0v, Cmin0);
C0min = C0 * (1 - Yc0 / 100);

```

```

double Smax = Cmin / C0min;
double C0max = C0 * (1 + Yc0 / 100);
double Cmax1 = Smax * C0max;

```

```

double Cmax = C * (1 + Yc / 100);
double deltaC = Cmax1 - Cmax;
double Cc = deltaC / n;
double Sc = Cc / C0max;
if (Sc < 1) { Sc = 1; }
double Sosn = Smax - n * Sc;

```

```

double L1 = Math.Round(Math.Sqrt(((deltaL / 2) * (deltaL / 2)) * (1 + Kf) *
(1 + Kf) + Sosn * Kf) - deltaL / 2 * (1 + Kf), 2);
double B1 = Math.Round(Math.Sqrt(((deltaL / 2) * (deltaL / 2)) * ((1 + Kf) *
(1 + Kf)) / (Kf * Kf) + Sosn / Kf) - (deltaL / 2) * (1 + Kf), 2);

```

```

double S1 = (Smax - Sosn) / n;
double L2 = Math.Sqrt(S1);
double B2 = Math.Round(L2, 2);

```

```

double m = 0;
if (n >= 5)
{
    m = 1;
}
else if (n < 5 && n >= 1)

```

```

    {
        m = 2;
    }

    double Ln1 = L1 + L2 * 2 / m;
    double Bn1 = Ln1;

    double Ld1 = Math.Round(Ln1 + 2 * f, 2);
    double Bd1 = Ld1;
    double Skond = Math.Round(Ld1 * Bd1, 2);

    // Устанавливаем значение полученных данных в свойство Form3
    form3.Result = d;
    form3.Sosn = Skond;
    form3.n = n;
    form3.Lc = L2;
    form3.Bc = B2;
    form3.Ld = Ld1;
    form3.Bd = Bd1;
    form3.Lv = L1;
    form3.Bv = B1;
    form3.Ln = Ln1;
    form3.Bn = Bn1;

    // Открываем Form3
    form3.Show();
}

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Form2 form2 = new Form2(this);
    form2.ShowDialog();
}

public void SetRowValues(object[] values)
{
    Refresh_ComboBox();

    // вывод полученных значений ячеек из Form2

```

```

id = (long)values[0];
DielectricMaterial = (string)values[1];
CoverMaterial = (string)values[2];
CoverResistivity = (double)values[3];
CapacitanceDensity = (double)values[4];
ElectricStrength = (double)values[5];
DielectricPermittivity = (double)values[6];
TgDelta = (double)values[7];
WorkingFrequency = (double)values[8];
TKE = (double)values[9];

string rowValues = string.Join(", ", values);
label2.Text = DielectricMaterial;
comboBox1.Text = DielectricMaterial;

label4.Text = CoverMaterial.ToString();
label5.Text = CoverResistivity.ToString();
label6.Text = CapacitanceDensity.ToString();
label7.Text = ElectricStrength.ToString();
label8.Text = DielectricPermittivity.ToString();
label9.Text = WorkingFrequency.ToString();
label10.Text = TKE.ToString();
}

private void comboBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    // Получение выбранного значения из comboBox
    string selectedMaterial = comboBox1.SelectedItem.ToString();

    // Создание экземпляра DatabaseManager
    DatabaseManager dbManager = new DatabaseManager();

    // Получение данных по выбранному материалу
    DataTable dataTable = dbManager.GetMaterialData(selectedMaterial);

    // Проверка наличия данных
    if (dataTable.Rows.Count > 0)
    {
        DataRow row = dataTable.Rows[0];

        // Заполнение переменных
        id = Convert.ToInt64(row["Id"]);
        DielectricMaterial = row["DielectricMaterial"].ToString();
    }
}

```

```

CoverMaterial = row["CoverMaterial"].ToString();
CoverResistivity = Convert.ToDouble(row["CoverResistivity"]);
CapacitanceDensity = Convert.ToDouble(row["CapacitanceDensity"]);
ElectricStrength = Convert.ToDouble(row["ElectricStrength"]);
DielectricPermittivity = Convert.ToDouble(row["DielectricPermittivity"]);
TgDelta = Convert.ToDouble(row["TgDelta"]);
WorkingFrequency = Convert.ToDouble(row["WorkingFrequency"]);
TKE = Convert.ToDouble(row["TKE"]);
}

```

```
label2.Text = DielectricMaterial;
```

```

label4.Text = CoverMaterial.ToString();
label5.Text = CoverResistivity.ToString() + " Ом/см";
label6.Text = CapacitanceDensity.ToString() + " пФ/мм^2";
label7.Text = ElectricStrength.ToString() + " В/см";
label8.Text = DielectricPermittivity.ToString();
label9.Text = TgDelta.ToString();
label10.Text = WorkingFrequency.ToString() + " МГц";
label19.Text = TKE.ToString() + "*10^-4, 1/град";
}

private void textBox8_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label11_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label12_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label13_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label15_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

```

```

    }

    private void label9_Click(object sender, EventArgs e)
    {

    }

    private void label3_Click(object sender, EventArgs e)
    {

    }

    private void label14_Click(object sender, EventArgs e)
    {

    }

    private void textBox6_TextChanged(object sender, EventArgs e)
    {

    }

    private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Application.Exit();
    }
}

```

Form 2:

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ThinFilmCapacitorDesign
{
    public partial class Form2 : Form
    {

```

```

private DatabaseManager databaseManager;
private Form1 form1;

public Form2(Form1 form1)
{
    InitializeComponent();
    this.form1 = form1;

    databaseManager = new DatabaseManager();

    // Добавление элемента DataGridView в коллекцию Controls формы
    Controls.Add(dataGridView1);

    // Загрузка и отображение данных из базы данных
    LoadData();
}

public Form2()
{
    InitializeComponent();

    databaseManager = new DatabaseManager();

    // Добавление элемента DataGridView в коллекцию Controls формы
    Controls.Add(dataGridView1);

    // Загрузка и отображение данных из базы данных
    LoadData();
}

private void LoadData()
{
    // Получение данных из базы данных
    DataTable dataTable = databaseManager.GetAllData();

    // Назначение DataTable в качестве источника данных для элемента
    DataGridView
    dataGridView1.DataSource = dataTable;
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Form4 form4 = new Form4();
    form4.ShowDialog();
}

```

```

databaseManager = new DatabaseManager();

// Добавление элемента DataGridView в коллекцию Controls формы
Controls.Add(dataGridView1);

// Загрузка и отображение данных из базы данных
LoadData();
}

private void dataGridView1_CellContentClick(object sender,
DataGridViewCellEventArgs e)
{
    // Проверяем, что индекс строки действителен и не равен -1 (не выбран
заголовок столбца)
    if (e.RowIndex >= 0 && e.RowIndex != dataGridView1.NewRowIndex)
    {
        // Получаем выбранную строку
        DataGridViewRow selectedRow = dataGridView1.Rows[e.RowIndex];

        // Получаем значения всех ячеек выбранной строки
        object[] cellValues = selectedRow.Cells.Cast<DataGridViewCell>()
            .Select(cell => cell.Value)
            .ToArray();

        form1.SetRowValues(cellValues);

        // Закрываем форму
        this.Close();
    }
}

private void Form2_Load(object sender, EventArgs e)
{
}
}
}

```

Form 3:

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;

```

```

using System.Linq;
using System.Reflection;
using System.Reflection.Emit;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ThinFilmCapacitorDesign
{
    public partial class Form3 : Form
    {
        public double Result { get; set; }
        public double Sosn { get; set; }
        public double n { get; set; }
        public double Lc { get; set; }
        public double Bc { get; set; }

        public double Ld { get; set; }

        public double Bd { get; set; }
        public double Lv { get; set; }
        public double Bv { get; set; }
        public double Ln { get; set; }
        public double Bn { get; set; }

        public Form3()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form3_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            label1.Text = "Толщина диэлектрика d: " + Result.ToString() + " мм";
            label2.Text = "S конденсатора: " + Sosn.ToString() + " мм^2";
            label3.Text = "Кол-во секций: " + n.ToString();
            label4.Text = "Длина одной секции Lc: " + Lc.ToString() + " мм";
            label5.Text = "Длина нижней обкладки Ln: " + Ln.ToString() + " мм";
            label6.Text = "Длина верхней обкладки Lv: " + Lv.ToString() + " мм";
            label7.Text = "Длина диэлектрика Lд: " + Ld.ToString() + " мм";
            label8.Text = "Ширина одной секции Bc: " + Bc.ToString() + " мм";
            label9.Text = "Ширина нижней обкладки Bн: " + Bn.ToString() + " мм";
            label10.Text = "Ширина верхней обкладки Bв: " + Bv.ToString() + " мм";
            label11.Text = "Ширина диэлектрика Bд: " + Bd.ToString() + " мм";
        }
    }
}

```

```

// Проверяем значение переменной "n"
if (n >= 1 && n <= 10)
{
    string imageName = $"{n}.png"; // Формируем имя файла изображения
    string resourcePath = $"ThinFilmCapacitorDesign.source.{imageName}";

    // Загружаем изображение из внедренных ресурсов
    Assembly assembly = Assembly.GetExecutingAssembly();
    using (Stream stream =
assembly.GetManifestResourceStream(resourcePath))
    {
        if (stream != null)
        {
            pictureBox1.Image = Image.FromStream(stream);
        }
    }
}
else
{
    // Выводим сообщение об ошибке, если значение "n" не соответствует
    // ожидаемому диапазону
    MessageBox.Show("Неверное значение переменной 'n'");
}
}
}
}

```

Form 4:

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ThinFilmCapacitorDesign
{
    public partial class Form4 : Form
    {

```

```

private DatabaseManager databaseManager;

private string DielectricMaterial;
private string CoverMaterial;
private double CoverResistivity;
private double CapacitanceDensity;
private double ElectricStrength;
private double DielectricPermittivity;
private double TgDelta;
private double WorkingFrequency;
private double TCE;

public Form4()
{
    InitializeComponent();
    databaseManager = new DatabaseManager();
}

private void Form4_Load(object sender, EventArgs e)
{
    textBox1.PlaceholderText = "Материал диэлектрика";
    textBox2.PlaceholderText = "Материал обкладок";
    textBox3.PlaceholderText = "Удельное сопротивление обкладок (Ом/см)";
    textBox4.PlaceholderText = "Удельная ёмкость (пФ/мм^2)";
    textBox5.PlaceholderText = "Электр.прочность *10^6 (В/см)";
    textBox6.PlaceholderText = "Диэлектрическая проницаемость";
    textBox7.PlaceholderText = "Тангенс угла диэлектрических потерь";
    textBox8.PlaceholderText = "Рабочая частота (МГц)";
    textBox9.PlaceholderText = "ТКЕ*10^-4 (1/град)";
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        DielectricMaterial = textBox1.Text;
        CoverMaterial = textBox2.Text;
        CoverResistivity = double.Parse(textBox3.Text);
        CapacitanceDensity = double.Parse(textBox4.Text);
        ElectricStrength = double.Parse(textBox5.Text);
        DielectricPermittivity = double.Parse(textBox6.Text);
        TgDelta = double.Parse(textBox7.Text);
        WorkingFrequency = double.Parse(textBox8.Text);
        TCE = double.Parse(textBox9.Text);
    }
}

```

```

    }
    catch (FormatException)
    {
        MessageBox.Show("Ошибка при вводе числового значения",
"Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
        return; // Прерывание выполнения метода
    }

    databaseManager.InsertData(DielectricMaterial, CoverMaterial,
CoverResistivity, CapacitanceDensity, ElectricStrength, DielectricPermittivity,
TgDelta, WorkingFrequency, TCE);
    Form1 form1 = new Form1();
    Form2 form2 = new Form2();
    this.Close();
    }
}
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе
«Антиплагиат.ВУЗ»

					ПГУ 2. 11.03.04. 012 ПЗ	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Ректору Пензенского
государственного университета
А. Д. Гулякову
студента 4 курса ФИТЭ
очной формы обучения
Малышева Сергея Алексеевича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Малышев Сергей Алексеевич, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника. Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Разработка программного обеспечения для проектирования тонкопленочных конденсаторов», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.



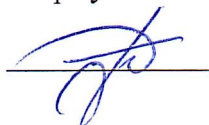
16.06.2023

подпись студента

дата

ВКР представлена на проверку 16.06.2023

Руководитель ВКР



А.Н. Головяшкин

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Разработка программного обеспечения для проектирования тонкопленочных конденсаторов»

студента 4 курса С.А. Малышев

направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР Головяшкин А.Н.



СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Малышев Сергей Алексеевич
Самоцитирование
рассчитано для: Малышев Сергей Алексеевич
Название работы: Разработка программного обеспечения для проектирования тонкопленочных конденсаторов
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	26.6%	СОВПАДЕНИЯ	26.6%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	69.46%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	69.46%
ЦИТИРОВАНИЯ	3.94%	ЦИТИРОВАНИЯ	3.94%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 16.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 16.06.2023 13:10

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.1-2, 4-51, содержание с.3, библиография с.52
Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЗБС; Интернет Плюс!; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант; аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 16.06.23г.

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Представленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

16.06.2023

А.Н. Головяшкин



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Малышев Сергей Алексеевич
Самоцитирование
рассчитано для: Малышев Сергей Алексеевич
Название работы: Разработка программного обеспечения для проектирования тонкопленочных конденсаторов
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	26.6%	СОВПАДЕНИЯ	26.6%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	69.46%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	69.46%
ЦИТИРОВАНИЯ	3.94%	ЦИТИРОВАНИЯ	3.94%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 16.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 16.06.2023 13:10

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.1-2, 4-51, содержание с.3, библиография с.52
Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 16.06.23

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)
Презентация

					ПГУ 2. 11.03.04. 012 ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

ТЕМА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ:
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Выполнил: студент группы 19 ПД1 Малышев С.А.
Руководитель: доцент кафедры НиМЭ ПГУ Головяшкин А.Н.

Объект, предмет, цель и задачи исследования

- Объект исследования: тонкоплёночный конденсатор.
- Предмет исследования: параметры тонкоплёночного конденсатора.
- Цель: разработать программное обеспечение для расчёта и проектирования тонкоплёночных высокоточных конденсаторов.
- Задачи:
 1. Провести анализ сред разработки программного обеспечения.
 2. Провести анализ критериев выбора оптимального материала для изготовления тонкоплёночного конденсатора.
 3. Разработать алгоритм расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы
 4. Разработать алгоритм последующего расчёта параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой, на основе конденсатора простой формы.
 5. Разработать программное обеспечение для проектирования тонкоплёночных конденсаторов.
 6. Сделать полное описание готовой программы.

Анализ сред разработки программного обеспечения

C++

Плюсы:

- Для C++ разработчиков написано множество библиотек
- Функция однократной компиляции
- Поддержка универсального программирования, классов, структур
- Высокая производительность

Минусы:

- Выделение памяти
- Инструкция «*goto*»
- Перегрузка операторов
- Неудобный синтаксис шаблона

Python

Плюсы:

- Лаконичность
- Востребованность на рынке

Минусы:

- Меньшая производительность

Java

Плюсы:

- Кроссплатформенность
- Небольшое время модульного тестирования
- Обширная общедоступная библиотека сред

Минусы:

- Меньшая производительность по сравнению с C++, C
- Многословный код

CSharp

Плюсы:

- Наличие ООП
- Кроссплатформенность
- Автоматическая сборка мусора и управление памятью
- Много библиотек и готовых решений

Минусы:

- C# менее гибкий, так как в основном зависит от платформы .NET

Материалы для изготовления тонкоплёночных конденсаторов

Все характеристики тонкоплёночных конденсаторов (ёмкость, рабочее напряжение, температурный коэффициент ёмкости, частотные свойства и размеры) зависят от выбранных материалов.

Материалы для изготовления диэлектрических плёнок конденсаторов должны обладать следующими свойствами:

- максимальное значение относительной диэлектрической проницаемости, удельного электрического сопротивления и электрической прочности;
- низкие значения тангенса угла диэлектрических потерь и температурного коэффициента ёмкости (ТКЕ или ТКС);
- высокое значение рабочей частоты;
- минимальную гигроскопичность;
- хорошую адгезию к материалам подложки и обкладок;
- минимальное значение коэффициента старения.

Разработка алгоритма расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы

1. Расчет минимальной толщины диэлектрика:
$$d_{min} \geq \frac{K_3 \cdot U_{раб}}{E_{пр}}$$

2. Расчет допустимой погрешности площади конденсатора:

$$\gamma_{S_{доп}} = \gamma_{Cl} - \gamma_{C_0} - \gamma_{C_t} - \gamma_{C_{ст}} \cdot 100\%,$$

$$\text{где } \gamma_{C_t} = \text{ТКС} \cdot (T_{max} - 20^\circ\text{C}) \cdot 100\%$$

3. Определение удельной емкости:

$$C_{0\text{точн}} = C \left(\frac{\gamma_{s \text{ доп}}}{2 \cdot \Delta L} \right)^2$$

$$C_{0V} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon}{d_{min}}$$

$$C_{0min} = C_0 S_{min}$$

с учетом точности изготовления

для обеспечения необходимой электрической прочности

минимальная площадь на подложке

$$C_0 \leq \min[C_{0min}, C_{0V}, C_{0\text{точн}}]$$

Алгоритм и расчет размеров конденсатора простой формы, проверка допустимости расчётов.

4. Расчет толщины выбранного диэлектрика:

$$d = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{C_0}$$

5. Расчет коэффициента, учитывающего краевой эффект:

$$K = \begin{cases} 1; C / C_0 \geq 5 \text{ мм}^2 \\ 1,3 - 0,06 \cdot C / C_0; 1 \leq C / C_0 < 5 \text{ мм}^2 \end{cases}$$

6. Расчет площади верхней обкладки конденсатора:

$$S = \frac{C}{C_0 \cdot K}$$

7. Определение размеров верхней обкладки:

$$L = B = \sqrt{S}$$

8. Определение размеров нижней обкладки: $L_H = B_H = L + 2q$

9. Определение размеров диэлектрика: $L_D = B_D = L_H + 2f$

10. Расчёт площади, занимаемой конденсатором: $S_D = L_D \cdot B_D$

11. Проверка расчетов
конденсатора:

$$\operatorname{tg} \delta \geq \operatorname{tg} \delta_{\text{раб}}$$

$$\delta_{\text{раб}} = \operatorname{tg} \delta_{\text{диэ}} + \operatorname{tg} \delta_{\text{об}}$$

$$\delta_{\text{об}} = \frac{2}{3} \cdot \omega \cdot R_{\text{об}} \cdot C,$$

$$\text{где } R_{\text{об}} = \rho_s S_{\text{об}} K_{\text{ф}}$$

Алгоритм и расчет параметров конденсатора с дискретной подгонкой

высокоточного тонкоплёночного

12. Определение количества подгоночных секций:

$$n = \frac{\gamma_{C_0} + \gamma_s}{\gamma_C - \gamma_{C_{\text{ст}}}}$$

где $\gamma_s = \frac{\Delta L}{\sqrt{S}} \left(\sqrt{K_\phi} + \frac{1}{\sqrt{K_\phi}} \right)$

13. Определение удельной емкости:

$$C_{0\min} = \frac{C}{3(2n-1)}$$

$$C_{0V} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon}{d}$$

обусловленной ограничением минимальной площади

для обеспечения необходимой электрической прочности

$$C_0 \leq \min[C_{0\min}, C_{0V}]$$

$$C_0^{\min} = C_0 \left(1 - \frac{\gamma_{C_0}}{100\%} \right)$$

$$C_0^{\max} = C_0 \left(1 + \frac{\gamma_{C_0}}{100\%} \right)$$

Алгоритм и расчет размеров конденсатора и подгоночных секций

14. Расчёт площади верхней обкладки вместе с подгоночными секциями:

$$S_{\max} = \frac{C_{\min}}{C_0^{\min}}$$

15. Расчёт максимально возможной ёмкости конденсатора:

$$C_{\max}' = S_{\max} C_0^{\max}$$

16. Расчёт величины ёмкости, которую необходимо скорректировать:

$$\Delta C = C_{\max}' - C_{\max}$$

17. Расчёт максимальной номинальной ёмкости конденсатора:

$$C_{\max} = C + \Delta C = C \cdot \left(1 + \frac{\gamma_C}{100\%}\right)$$

18. Расчёт величины ёмкости одной подгоночной секции:

$$C_C = \frac{\Delta C}{n}$$

19. Расчёт площади одной секции конденсатора сложной формы:

$$S_C = \frac{C_C}{C_0^{\max}}$$

Общая площадь занимаемая конденсатором

20. Расчёт площади основной обкладки нерегулируемой части конденсатора:

$$S_{\text{осн}} = S_{\text{max}} - n \cdot S_c$$

21. Определение размеров сторон верхней обкладки конденсатора:

$$L_1 = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{2}\right)^2 \cdot (1 + K_\phi)^2 + S_{\text{осн}} \cdot K_\phi} - \frac{\Delta L}{2}(1 + K_\phi)$$

$$B_1 = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{2}\right)^2 \cdot \frac{(1 + K_\phi)^2}{K_\phi^2} + \frac{S_{\text{осн}}}{K_\phi}} - \frac{\Delta L}{2}(1 + K_\phi)$$

22. Расчёт площади верхней обкладки одной секции:

$$S_1 = \frac{S_{\text{max}} - S_{\text{осн}}}{n}$$

23. Расчёт размера секции:

$$L_c = B_c = \sqrt{S_1}$$

24. Расчёт размера нижней обкладки подгоняемого конденсатора:

$$L_H = B_H = L_l + L_c \cdot 2/m, \quad \text{где } m = \begin{cases} 1; n \geq 5 \\ 2; n < 5 \end{cases}$$

25. Определение размеров диэлектрика:

$$L_D = B_D = L_H + 2f$$

26. Расчёт площади, занимаемой конденсатором:

$$S_D = L_D \cdot B_D$$

Главное меню программы

Главное меню

Таблица материалов

Выбранный материал: Моноксид германия (ГОСТ 19602-74)

С - номинальная ёмкость (пФ)

γC - для конденсатора с дискретной подгонкой (%)

Uраб - рабочее напряжение (В)

fmax - max рабочая частота (кГц)

tgδ - тангенс угла диэлектрических потерь

Tmax - max допустимая температура (градус)

γC1 - для конденсатора простой формы (%)

Моноксид германия (ГОСТ 19602-74)

Материал обкладок	Алюминий А-99 (ГОСТ10969-64)
Удельное сопротив. обкладок	0,2 Ом/см
Удельная ёмкость	100 пФ/мм ²
Электрич. прочность * 10 ⁶	10 В/см
Диэлектрич. проницаемость	11,5
tgδ	0,006
Рабочая частота	500 МГц
ТКЕ	1,5*10 ⁻⁴ , 1/град

Рассчитать

Выход

Выбор материала

Выбранный материал: Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)

☐	Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70) ▾	
☒	Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)	
☐	Моноокись германия (ГОСТ 19602-74)	
☐	Боросиликатное стекло (ЕТО.035.щ15 ТУ)	
☐	Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)	
☐	Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)	
☐	Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	
☐	Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	
☐	Диэлектрич. проницаемость	5,5
☐	tgδ	0,01
☐	Рабочая частота	500 МГц
☐	ТКЕ	3,5*10 ⁻⁴ , 1/град

Выбранный материал: Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)

☐	Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600) ▾	
☐	Материал обкладок	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)
☐	Удельное сопротив. обкладок	0,2 Ом/см
☐	Удельная ёмкость	170 пФ/мм ²
☐	Электрич. прочность * 10 ⁶	3,5 В/см
☐	Диэлектрич. проницаемость	5,2
☐	tgδ	0,003
☐	Рабочая частота	300 МГц
☐	ТКЕ	4*10 ⁻⁴ , 1/град

Добавление нового материала

■ Меню выбора материала

Добавить новый материал

	Id	DielectricMaterial	CoverMaterial	CoverResistivity	CapacitanceDensity	ElectricStrength	DielectricPermittivity	TgDelta	WorkingFrequency	TKE
▶	1	Моноксид кремния (ГОСТ 5.634-70)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	75	2	5,5	0,01	500	3,5
	2	Моноксид германия (ГОСТ 19602-74)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	100	10	11,5	0,006	500	1,5
	3	Боросиликатное стекло (ЕТО.035.щ15 ТУ)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	90	3,5	4	0,0015	300	4
	4	Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	170	3,5	5,2	0,003	300	4
	5	Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	300	3,5	5,2	0,0025	300	1,5
	6	Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	Тантал ТВЧ (РЭТУ 1244-67), нижняя обкладка	50	350	4	23	0,025	10	4
	7	Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64), верхняя обкладка	0,2	200	2,5	11,5	0,015	0,1	4

■ Добавление нового материала — □ ×

Материал диэлектрика

Материал обкладок

Удельное сопротивление обкладок (Ом/см)

Удельная ёмкость (пФ/мм²)

Электр.прочность *10⁶ (В/см)

Диэлектрическая проницаемость

Тангенс угла диэлектрических потерь

Рабочая частота (МГц)

ТКЕ*10⁻⁴ (1/град)

Добавить материал

■ Добавление нового материала — □ ×

Пример1

Пример 2

1

2

3

4

5

6

7

Добавить материал

Выбор нового материала

Меню выбора материала

Добавить новый материал

	Id	DielectricMaterial	CoverMaterial	CoverResistivity	CapacitanceDensity	ElectricStrength	DielectricPermittivity	TgDelta	WorkingFrequency	TKE
▶		Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	75	2	5,5	0,01	500	3,5
		Моноокись германия (ГОСТ 19602-74)	Алюминий А-99 (ГОСТ10969-64)	0,2	100	10	11,5	0,006	500	1,5
		Боросиликатное стекло (ЕТО.035.щ15 ТУ)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	90	3,5	4	0,0015	300	4
		Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64)	0,2	170	3,5	5,2	0,003	300	4
		Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)	Алюминий А-99 (ГОСТ10969-64)	0,2	300	3,5	5,2	0,0025	300	1,5
		Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	Тантал ТВЧ (РЭТУ 1244-67), нижняя обкладка	50	350	4	23	0,025	10	4
		Ta2O5 (электрохимическое анодирование)	Алюминий А-99 (ГОСТ 10969-64), верхняя обкладка	0,2	200	2,5	11,5	0,015	0,1	4
		Пример1	Пример 2	1	2	3	4	5	6	7

Выбранный материал: Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)

Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70) ▼

Моноокись кремния (ГОСТ 5.634-70)

Моноокись германия (ГОСТ 19602-74)

Боросиликатное стекло (ЕТО.035.щ15 ТУ)

Стекло электровакуумное С44-1 (НПО.027.600)

Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.590)

Ta2O5 (электрохимическое анодирование)

Ta2O5 (электрохимическое анодирование)

Пример1

tgδ 0,01

Рабочая частота 500 МГц

ТКЕ $3,5 \cdot 10^{-4}$, 1/град

Возможные ошибки

два	Материал обкладок	Алюминий А-99 (ГОСТ10969-64)
5	Удельное сопротив. обкладок	0,2 Ом/см
3.5	Удельная ёмкость	100 пФ/мм^2
0,03	Электрич. прочность * 10^6	10 В/см
125	Диэлектрич. проницаемость	11,5
15	tgδ	0,006
	Рабочая частота	500 МГц
	ТКЕ	1,5*10^-4, 1/град

Рассчитать

Ошибка

Ошибка при вводе числового значения

OK

680	Монокристалл германия (ГОСТ 19602-74)	
5	Материал обкладок	Алюминий А-99 (ГОСТ10969-64)
5	Удельное сопротив. обкладок	0,2 Ом/см
1	Удельная ёмкость	100 пФ/мм^2
0,03	Электрич. прочность * 10^6	10 В/см
125	Диэлектрич. проницаемость	11,5
6	tgδ	0,006

Рассчитать

Ошибка

Допустимая погрешность площади конденсатора меньше нуля! Необходимо выбрать другой материал или увеличить значение относительного отклонения номинального значения ёмкости для конденсатора простой формы

OK

680	Монокристалл германия (ГОСТ 19602-74)	
5	Материал обкладок	Алюминий А-99 (ГОСТ10969-64)
5	Удельное сопротив. обкладок	0,2 Ом/см
100000000	Удельная ёмкость	100 пФ/мм^2
0,03	Электрич. прочность * 10^6	10 В/см
125	Диэлектрич. проницаемость	11,5
15	tgδ	0,006

Рассчитать

Ошибка

Заданная максимальная рабочая частота превышает рабочую частоту материала!

OK

20	Монокристалл германия (ГОСТ 19602-74)	
5	Материал обкладок	Алюминий А-99 (ГОСТ10969-64)
5	Удельное сопротив. обкладок	0,2 Ом/см
1	Удельная ёмкость	100 пФ/мм^2
0,03	Электрич. прочность * 10^6	10 В/см
125	Диэлектрич. проницаемость	11,5
15	tgδ	0,006

Рассчитать

Ошибка

Краевой эффект меньше единицы! Невозможно спроектировать конденсатор! Необходимо выбрать другой материал или увеличить номинальную ёмкость

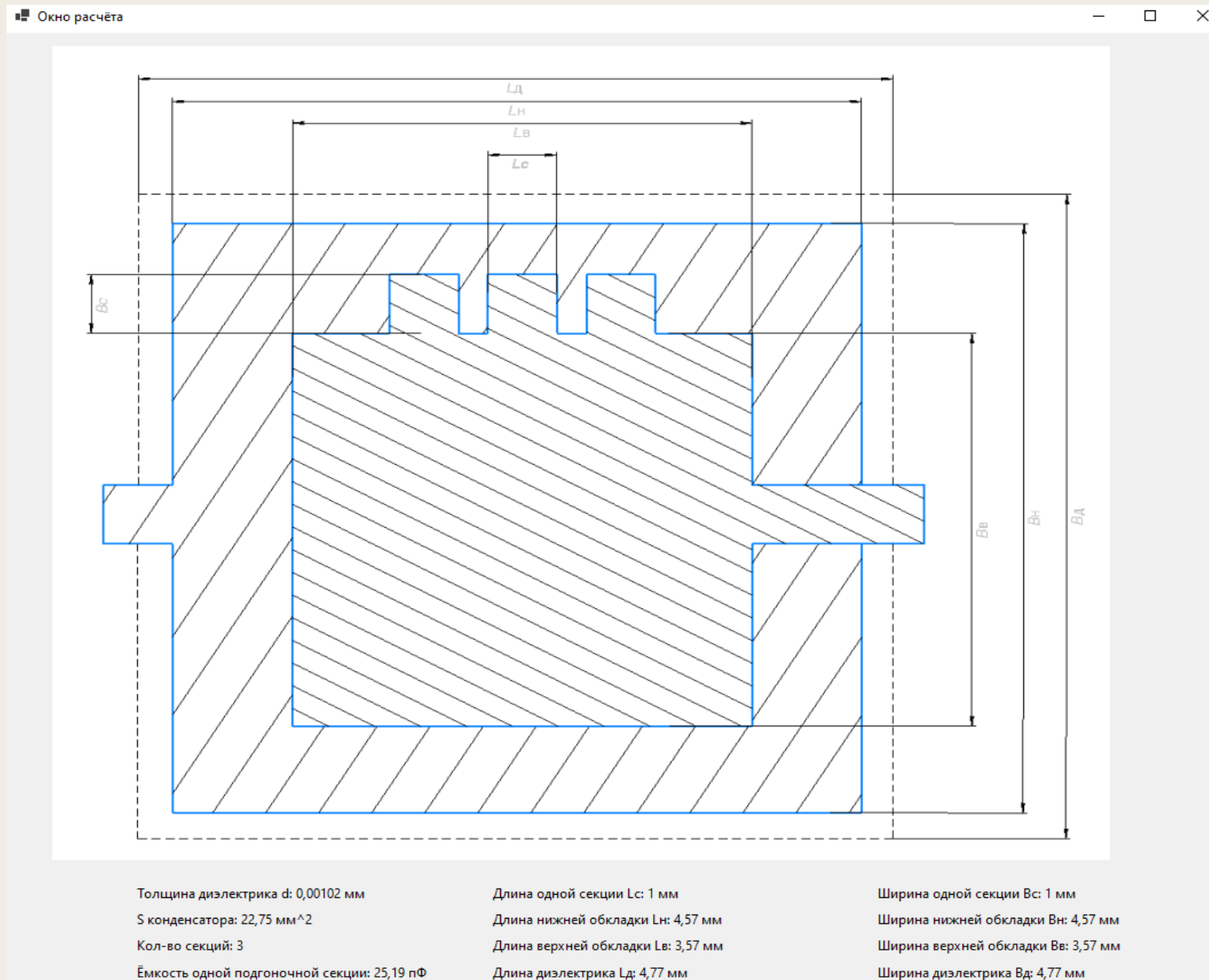
OK

Ошибка

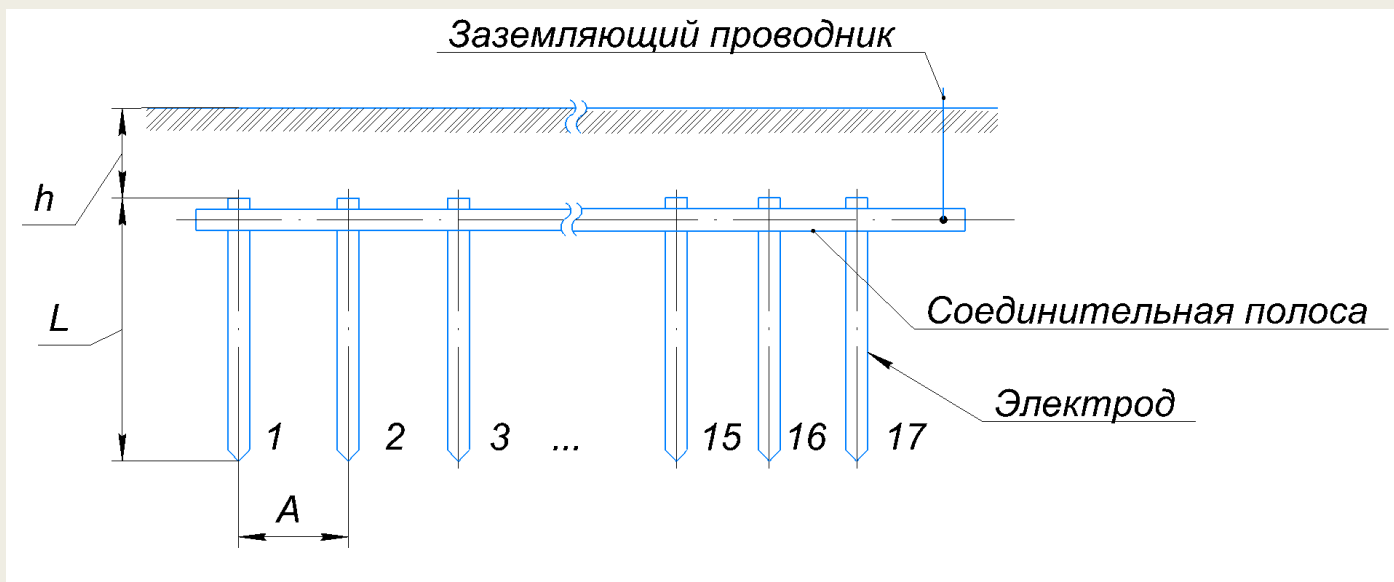
Рабочий тангенс угла диэлектрических потерь превышает заданный!

OK

Итоговый расчёт конденсатора



Расчёт контура заземления установки лазерной подгонки типа МЛ5-2



$$R_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l + L}{4 \cdot l - L}\right) \right)$$

$$R_0 = \frac{400 \text{ м} \cdot \text{м}}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot \text{м}} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 1 \cdot \text{м}}{12 \cdot 10^{-3} \text{ м}}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2 \text{ м} + 1 \cdot \text{м}}{4 \cdot 2 \text{ м} - 1 \cdot \text{м}}\right) = 33.37 \text{ Ом}$$

Расчёт количества одиночных необъединенных вертикальных электродов:

$$n = \frac{R_0 \cdot \eta_c}{R_{30} \cdot \eta_m} \quad n = \frac{33.37 \text{ Ом} \cdot 1.4}{40 \text{ м} \cdot 0.7} = 16.685$$

Расчёт сопротивления не объединенных в один контур вертикальных заземлителей:

$$R_{\text{сум}} = \frac{R_0 \cdot \eta_c}{n \cdot \eta_m} \quad R_{\text{сум}} = \frac{33.37 \text{ Ом} \cdot 1.4}{17 \cdot 0.72} = 3.82 \text{ Ом}$$

Расчёт длины соединительной полосы:

$$l_n = 1.05 \cdot A \cdot n$$

$$l_n = 1.05 \cdot 3 \text{ м} \cdot 17 = 50.4 \text{ м}$$

Основные результаты работы

- 1 Проведен анализ сред разработки программного обеспечения.
- 2 Проведен анализ критериев выбора оптимального материала для изготовления тонкоплёночного конденсатора.
- 3 Разработан алгоритм расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы. Также разработан алгоритм расчёта конденсатора сложной формы. По этим алгоритмам провели расчёты.
- 4 Разработана программа расчёта параметров высокоточных тонкоплёночных конденсаторов.

Для того, чтобы проверить работоспособность программы, в окне ввода данных были выбраны те же значения, как и в расчётах «вручную». Сравнение результатов показало, что программа работает без ошибок.

Спасибо за внимание!