

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Очиртаров А. В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЕМНЫХ РАДИОТРАКТОВ В САПР

Учебно-методические указания для проведения лабораторных работ и
организации самостоятельной работы студентов

Томск
2025

УДК 519.2 (075.8)

ББК 22.17я73

О–95

Рецензент:

Захаров Ф. Н., доцент кафедры радиотехнических систем,
кандидат физико-математических наук

Очиртаров, Артур Валерьевич

О–95 Моделирование приёмных радиотрактов в САПР: учебно-методические указания для проведения лабораторных работ и организации самостоятельной работы студентов технических направлений и специальностей / А. В. Очиртаров. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2025. – 51 с.

Учебно-методические указания по проведению лабораторных работ и организации самостоятельной работы для студентов в части моделирования приёмных трактов в САПР. Даны примеры моделирования конкретных узлов приёмных трактов, а также приёмных трактов в целом. Этапы создания моделей снабжены подробными иллюстрациями.

Учебно-методические указания содержат перечень тем и заданий для проведения лабораторных работ. Предназначено для студентов технических направлений подготовки и специальностей всех форм обучения.

Одобрено на заседании каф. РТС, протокол № 10 от 25.03.2025.

УДК 519.2 (075.8)

ББК 22.17я73

© Очиртаров А.В., 2025

© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2025

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методические указания содержат указания к проведению лабораторных работ, а также организации самостоятельной работы студентов в области проектирования и моделирования приёмных трактов.

Материал разбит на разделы.

Учебно-методические указания предназначены для подготовки студентов технических направлений и специальностей всех форм обучения.

Дополнительный теоретический и справочный материал, необходимый для выполнения лабораторных работ, приведён в литературе [1 – 4].

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 САПР SystemVue.....	6
2 Основы САПР SystemVue и его настройка для выполнения лабораторных работ	8
3 СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	24
3.1 Лабораторная работа на тему «Электронная модель имитатора цифрового сигнала на промежуточной частоте»	24
3.1.1 Методические указания к выполнению работы	24
3.1.2 Контрольные вопросы	25
3.1.3 Содержание отчета.....	25
3.2 Лабораторная работа на тему «Электронная модель конвертера радиоприёмного устройства».....	27
3.2.1 Методические указания к выполнению работы	27
3.2.2 Контрольные вопросы	28
3.2.3 Содержание отчета.....	28
3.3 Лабораторная работа на тему «Электронные модели аналоговых детекторов радиосигналов радиоприёмных устройств в среде SystemVue»	30
3.3.1 Методические указания к выполнению работы	30
3.3.2 Контрольные вопросы	31
3.3.3 Содержание отчета.....	31
3.4 Лабораторная работа на тему «Электронные модели демодуляторов цифровых радиосигналов радиоприёмных устройств в среде SystemVue»	33
3.4.1 Методические указания к выполнению работы	33
3.4.2 Контрольные вопросы	34
3.4.3 Содержание отчета.....	34
3.5 Лабораторная работа на тему «Электронные модели систем автоматического регулирования радиоприёмных устройств в среде SystemVue»	36
3.5.1 Методические указания к выполнению работы	36
3.5.2 Контрольные вопросы	37

3.5.3 Содержание отчета.....	37
3.6 Пример создания электронной модели на примере QPSK-модулятора.....	39
3.6.1 Контрольные вопросы	44
4 ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ	45
4.1 Проработка лекционного материала	45
4.2 Подготовка к тестированию.....	45
4.3 Подготовка к лабораторной работе	46
4.4 Подготовка к защите отчёта по лабораторной работе	46
4.5 Профессиональные базы данных и информационные справочные системы	47
5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
6 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	49
Приложение А Пример оформления титульного листа.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Современные радиоприёмные устройства (РПУ) представляют собой сложные радиоэлектронные системы, требующие тщательного анализа, проектирования и оптимизации. Использование систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет значительно ускорить процесс и повысить качество разработки приёмных трактов, снизить затраты и минимизировать ошибки на этапе проектирования.

В методических указаниях приводятся сведения о применении инструментов компьютерного моделирования РПУ, что является неотъемлемой частью подготовки инженеров в области радиоэлектроники, радиотехники, инфокоммуникаций и электроники.

Изучение и применение студентами САПР в части проектирования РПУ позволяет сформировать практические навыки моделирования радиоприёмных устройств с использованием современных САПР.

Методические указания позволяют студентам поэтапно освоить процесс моделирования радиоприёмных устройств, начиная от простых схем и заканчивая комплексным анализом всей системы. Полученные навыки способствуют развитию компетенций, необходимых для современного инженера-радиотехника.

Выполнение лабораторных работ в соответствии с данными указаниями обеспечивает:

- Углубленное понимание принципов работы РПУ.
- Умение применять САПР для анализа радиоэлектронных устройств.
- Подготовку к решению реальных задач в области проектирования радиосистем.

Лабораторные работы выполняются на основе теоретического курса, посвящённого:

- Основам радиоприёма и обработки сигналов.
- Принципам работы ключевых узлов РПУ.
- Методам компьютерного моделирования в радиотехнике.

Полученные навыки необходимы для выполнения курсовых и дипломных проектов, а также для дальнейшей профессиональной деятельности в области проектирования радиоэлектронной

Основная цель применения студентами методических указаний:

- Закрепление теоретических знаний о структуре и принципах работы радиоприёмных устройств.
- Освоение компьютерного моделирования РПУ.
- Развитие навыков работы с профессиональными САПР (SystemVue).

1 САПР SystemVue

SystemVue – это специализированная система автоматизированного проектирования (САПР) для разработки электронного оборудования на системном уровне. Она позволяет инженерам оптимизировать процесс физического проектирования моделирование радиочастотных структурно-функциональных электрических схем и высокочастотных блоков, устройств, схем, включая принципиальных

Одной из ключевых особенностей SystemVue является поддержка высокоуровневого проектирования радиочастотных трактов и модулирующих сигналов. Она предоставляет разнообразные методы моделирования радиочастотных схем, работающие как в частотной, так и во временной областях.

Платформа SystemVue предоставляет собой простую в использовании среду с современными технологиями моделирования, возможностью подключения к реальной измерительной аппаратуре и проведения испытаний. Она позволяет создавать алгоритмы работы и прототипы архитектур для сложных систем связи. SystemVue имеет интуитивно понятный блочный интерфейс среды разработки с обширными библиотеками блоков для построения коммуникационных систем, элементов адаптивного управления и компонентов цифровой обработки сигналов.

Программа моделирования SystemVue позволяет спроектировать линию передачи, настроить параметры пассивных и активных устройств, проанализировать форму, спектр сигнала в любой точке линии. Возможности программы обширны, так как моделирование осуществляется с различными устройствами и элементами, от аналогового сигнала до световых импульсов. Но при моделировании существуют не все параметры, которые влияют на характеристику линии. Этим и ограничивается виртуальная симуляция от практического расчета линии передачи.

SystemVue также поддерживает интеграцию с другими инструментами проектирования, такими как MATLAB, что позволяет инженерам использовать мощные алгоритмы обработки сигналов и анализа данных в рамках единой рабочей среды. Это особенно полезно при разработке сложных систем связи, где требуется совместное использование математического моделирования и радиочастотного проектирования. Кроме того, SystemVue предлагает возможность автоматизации процессов проектирования с помощью скриптов и макросов, что значительно ускоряет выполнение рутинных задач и повышает точность расчетов.

Платформа также поддерживает междисциплинарное моделирование, позволяя учитывать взаимодействие различных физических явлений, таких как тепловые, механические и электромагнитные эффекты, что делает ее незаменимым инструментом для комплексного проектирования современных

радиоэлектронных систем. Важно отметить, что SystemVue активно используется в таких областях, как разработка беспроводных систем связи, спутниковой связи, радарных систем и телекоммуникационного оборудования. Ее гибкость и широкий функционал делают ее идеальным решением для инженеров, работающих над созданием инновационных технологий в условиях постоянно растущих требований к производительности и энергоэффективности устройств.

Таким образом, System View — это современный программный инструмент для моделирования и анализа систем.

2 Основы САПР SystemVue и его настройка для выполнения лабораторных работ

Приветственное окно системного интерфейса позволяет посмотреть обучающие видео (см. рис. 2.1).

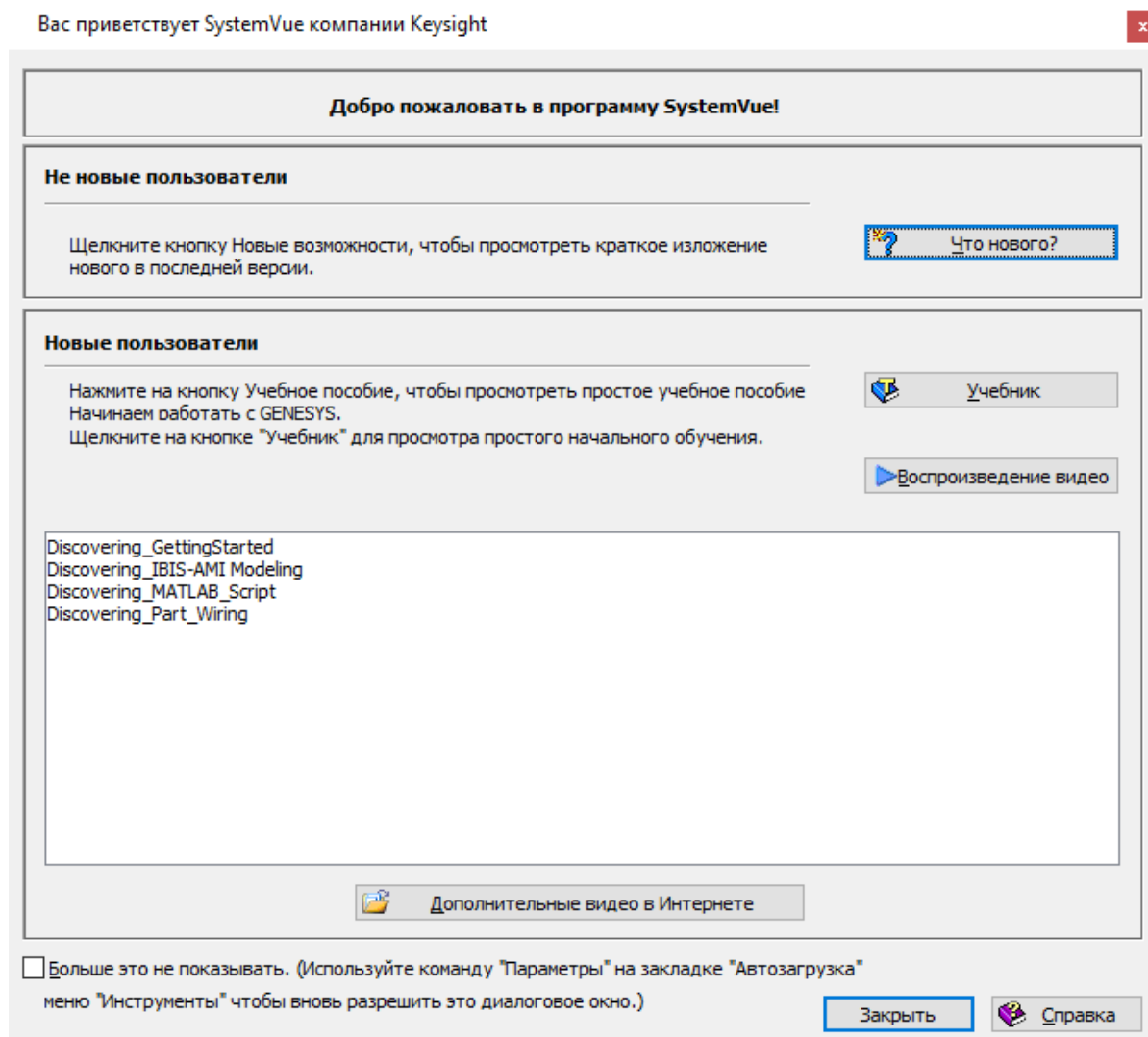


Рисунок 2.1 – Приветственное окно

Чтобы выбрать видео нажмите на него и нажмите на кнопку воспроизвести видео (см. рис. 2.2).

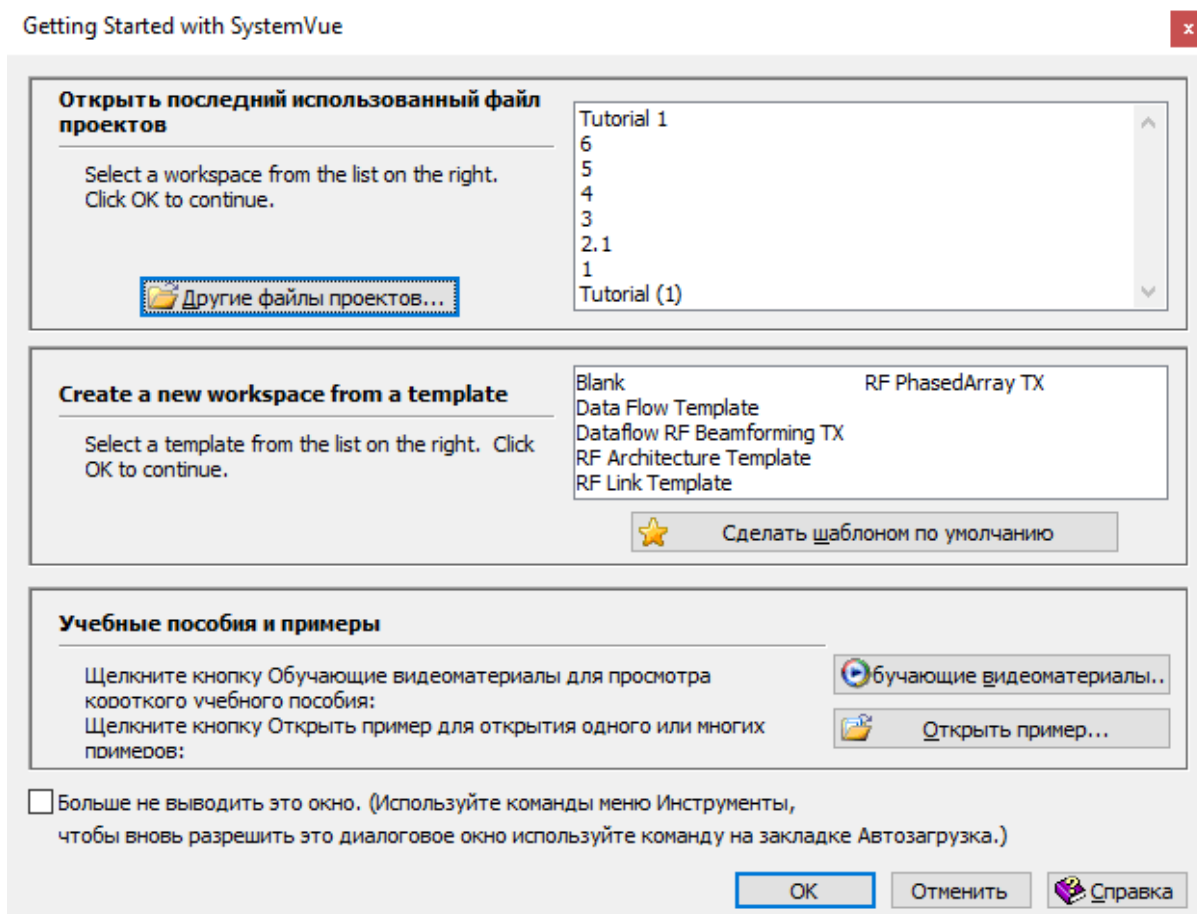


Рисунок 2.2 – Системное окно выбора нужного шаблона или файла

В системном интерфейсе все организовано в рабочие области.

В окне по середине можно создать новую рабочую область (списком находится шаблоны с разными начальными значениями) или открыть существующую.

Можно отслеживать последние восемь использованных рабочих областей.

Чтобы создать новую рабочую область выберите из списка по середине Blank и нажмите на кнопку в низу ОК.

Слева находится дерево рабочей области (см. рис. 2.3).

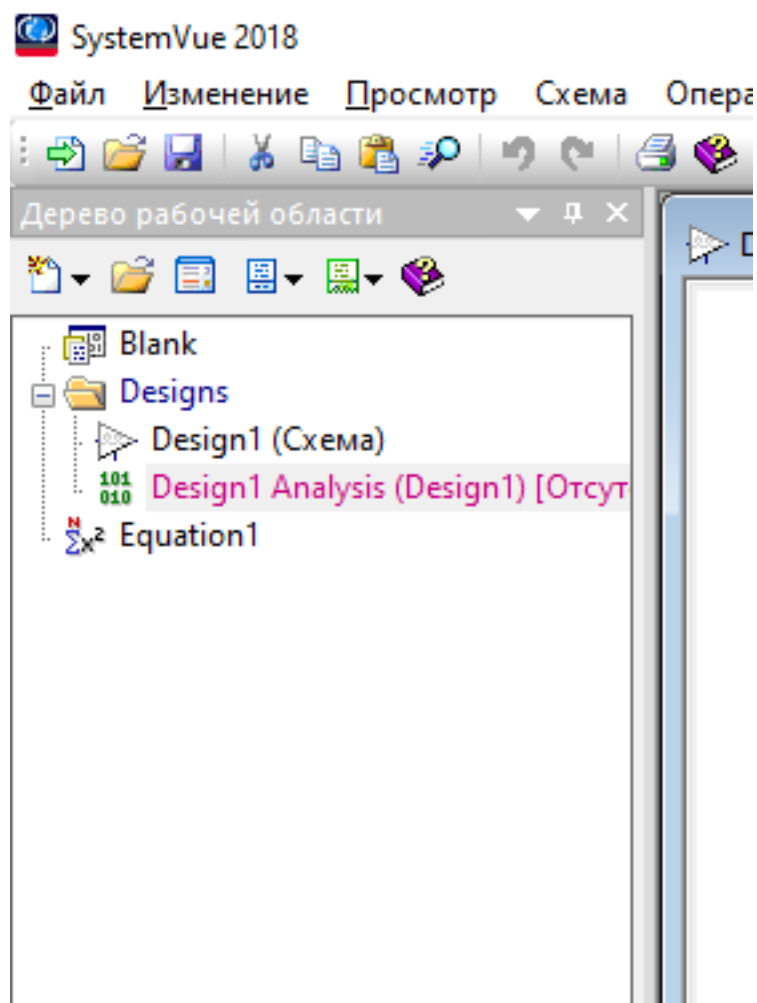


Рисунок 2.3 – Дерево рабочей области

Название отображается как пустое пока не сохраните файл и сформулируете название.

Четыре ключевые части интерфейса: дерево рабочей области, схема, библиотека компонентов, окно ошибок или предупреждений (см. рис. 2.4).

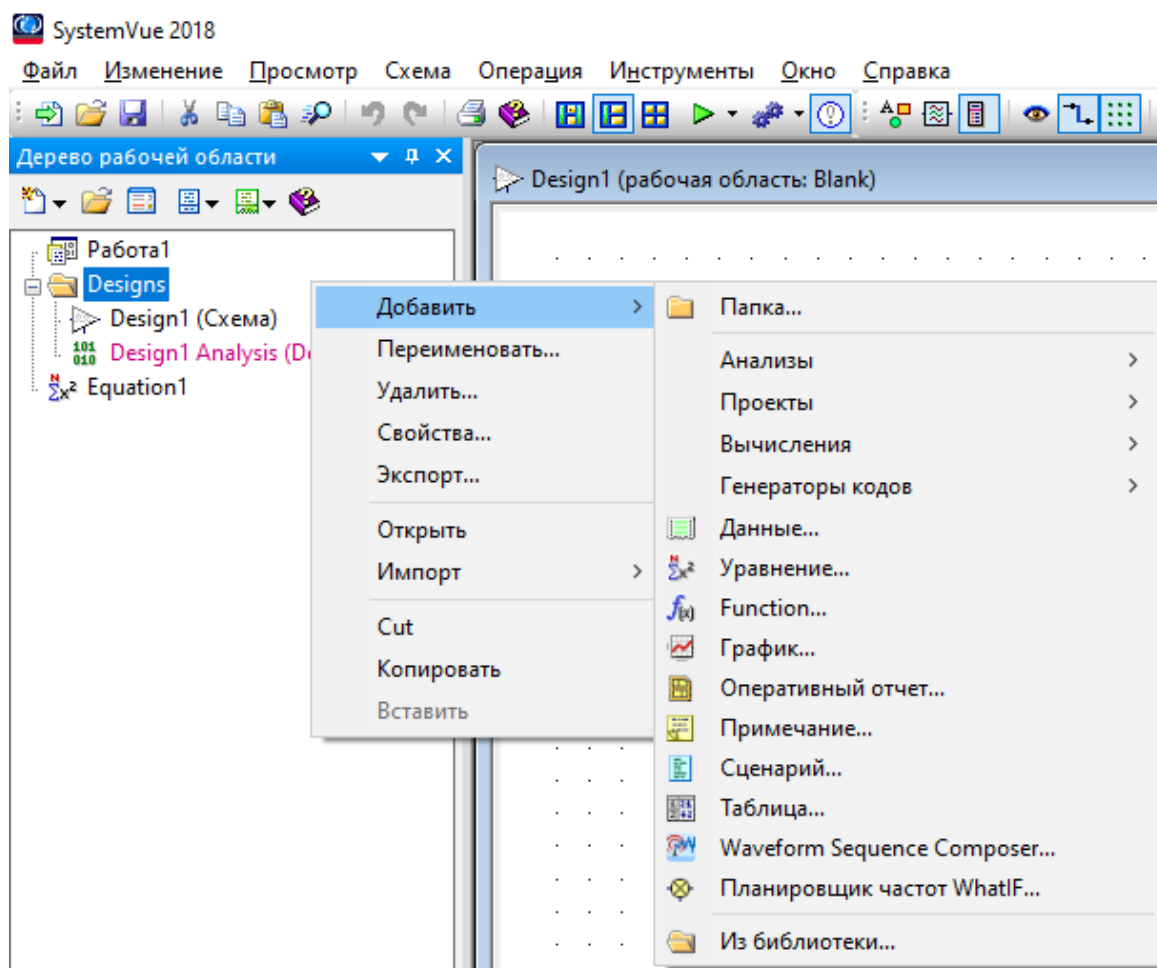


Рисунок 2.4 – Добавление папок и проектов

Внутри рабочей области есть главная папка "Проекты". Её название можно изменить на любое на латинице. Можно добавлять новые проекты, симуляторы и другие элементы. Чтобы добавить новые проекты нужно нажать ПКМ и выбрать из списка нужный вариант.

Схема используется для создания конфигурации системы. Справа находится библиотека. Вверху справа находится список библиотек, а под списком библиотек находится поле, где можно по названию найти нужный блок (см. рис. 2.5).

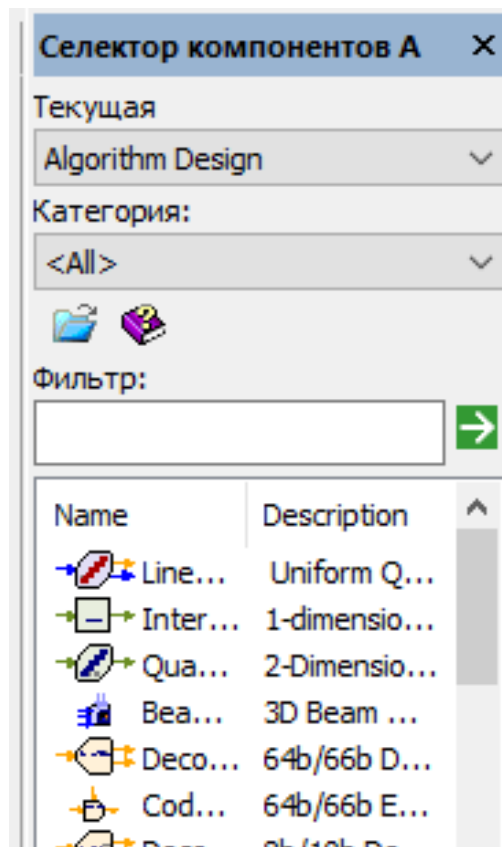


Рисунок 2.5 – Селектор компонентов

Чтобы перенести нужный элемент нужно нажать на него левой кнопкой мыши (ЛКМ) и потом нажать на рабочую область.

Для первой схемы наберите в поиске `sin` и выберете `sin gen` (см. рис. 2.6, 2.7).

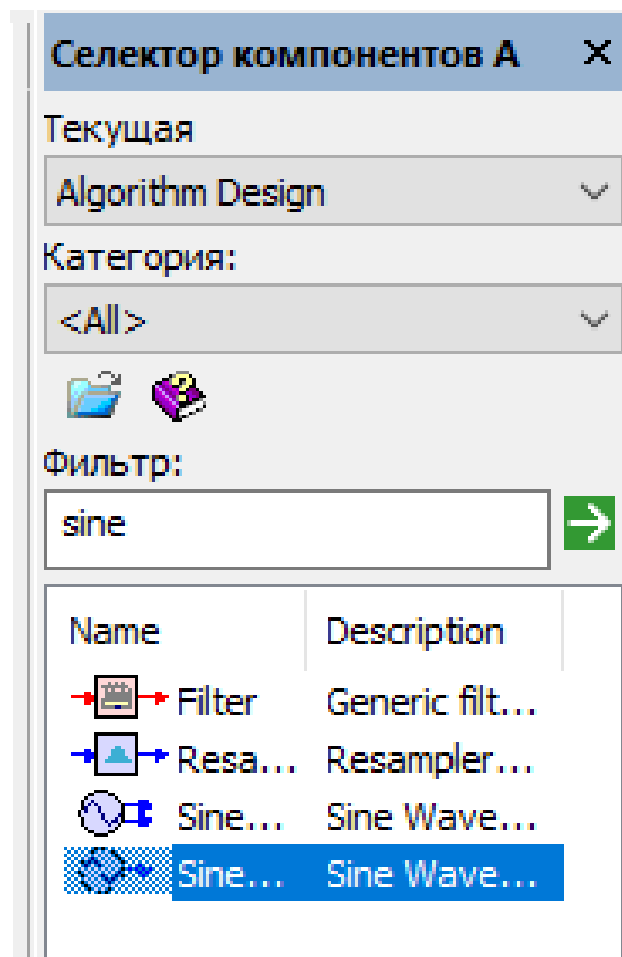


Рисунок 2.6 – Селектор компонентов с фильтром

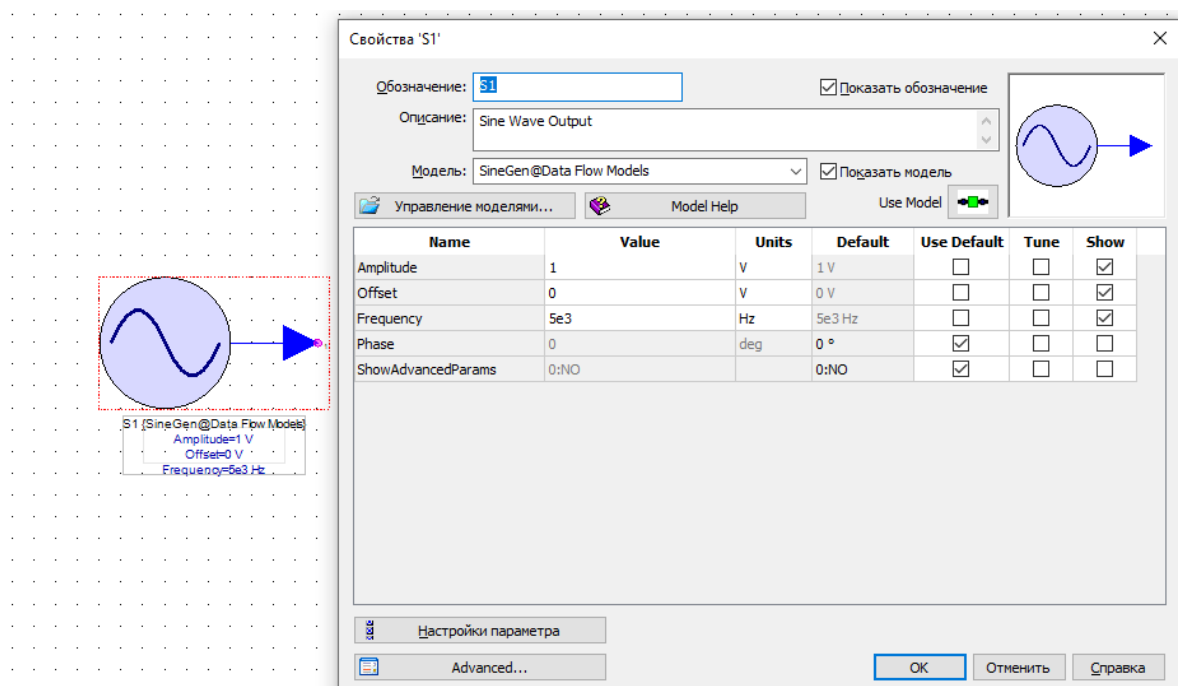


Рисунок 2.7 – Свойства блока S1

После того как разместить блок можно на него дважды нажать и открыть свойства, где можно вести параметры, которые вы хотите поменять.

У каждого компонента есть своя справочная информация. Чтобы её открыть нужно нажать на кнопку Model Help.

Когда вы нажмёте на неё то откроется страница с документацией, где будет подробная информация по элементу (см. рис. 2.8).

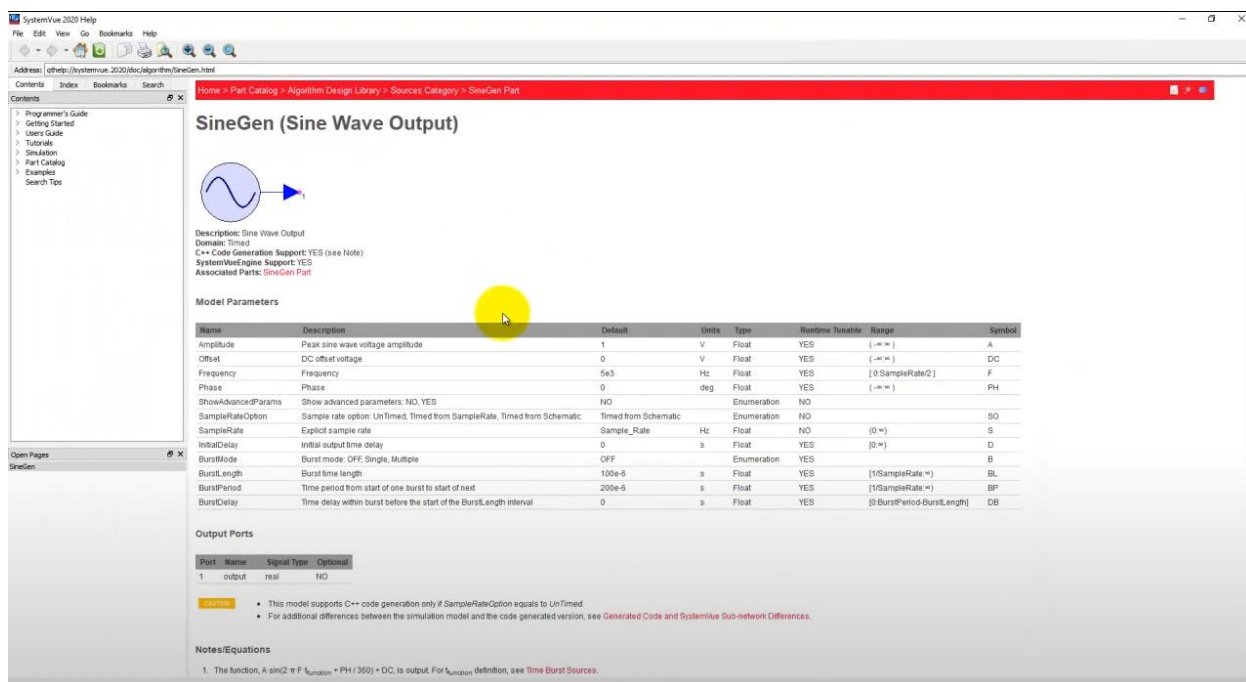


Рисунок 2.8 – Страница с документацией на блок генератора синусоидального сигнала

После того как поставили компоненты нужно обратить внимание на окно ошибки. В нём показываются ошибки или предупреждения.

Если возникает ошибка, то она подсвечивается красным цветом, если предупреждение жёлтым, а если зелёный, то это простое информационное сообщение (см. рис. 2.9).

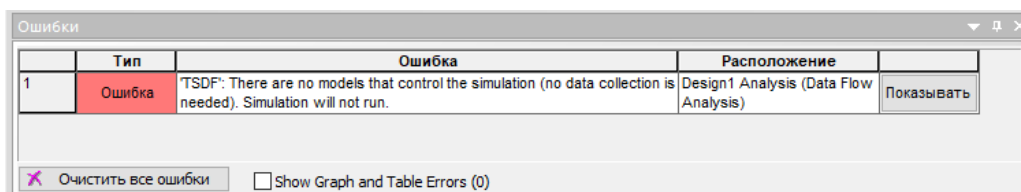


Рисунок 2.9 – Окно ошибок

Теперь настроим SystemVUE для моделирования.

В SystemVUE есть несколько способов моделирования и несколько симуляторов, базовый симулятор называется DATA Flow.

Любой симулятор во временной области работает с дискретизацией по времени это значит, что у него должно быть время начала время конца и интервал дискретизации. Это и нужно настроить.

При двойном нажатии на DATA Flow открывается окно настройки, где первым можно дать название симуляции (см. рис. 2.10).

В следующем поле нужно выбрать какой проект будем моделировать с помощью этого симулятора. После каждого моделирования будет появляться набор данных

Чтобы настроить симуляцию, следует обратить внимание на 2 аспекта: на частоту дискретизации (Sample_Rate) и на количество выработок (Num_Samples). Если поменять один из параметров, то остальные будут рассчитаны автоматически.

Теперь настроим симуляцию.

Так как по умолчанию частота на блоке sin равна 5 КГц, поставим частоту дискретизации 25 КГц чтобы получить хорошую синусоиду. Поставим количество выработок 1024, также с помощью списка в графе Num_Samples можно выбрать количество выработок и чисел, которые являются степенью двойки (см. рис. 2.10).

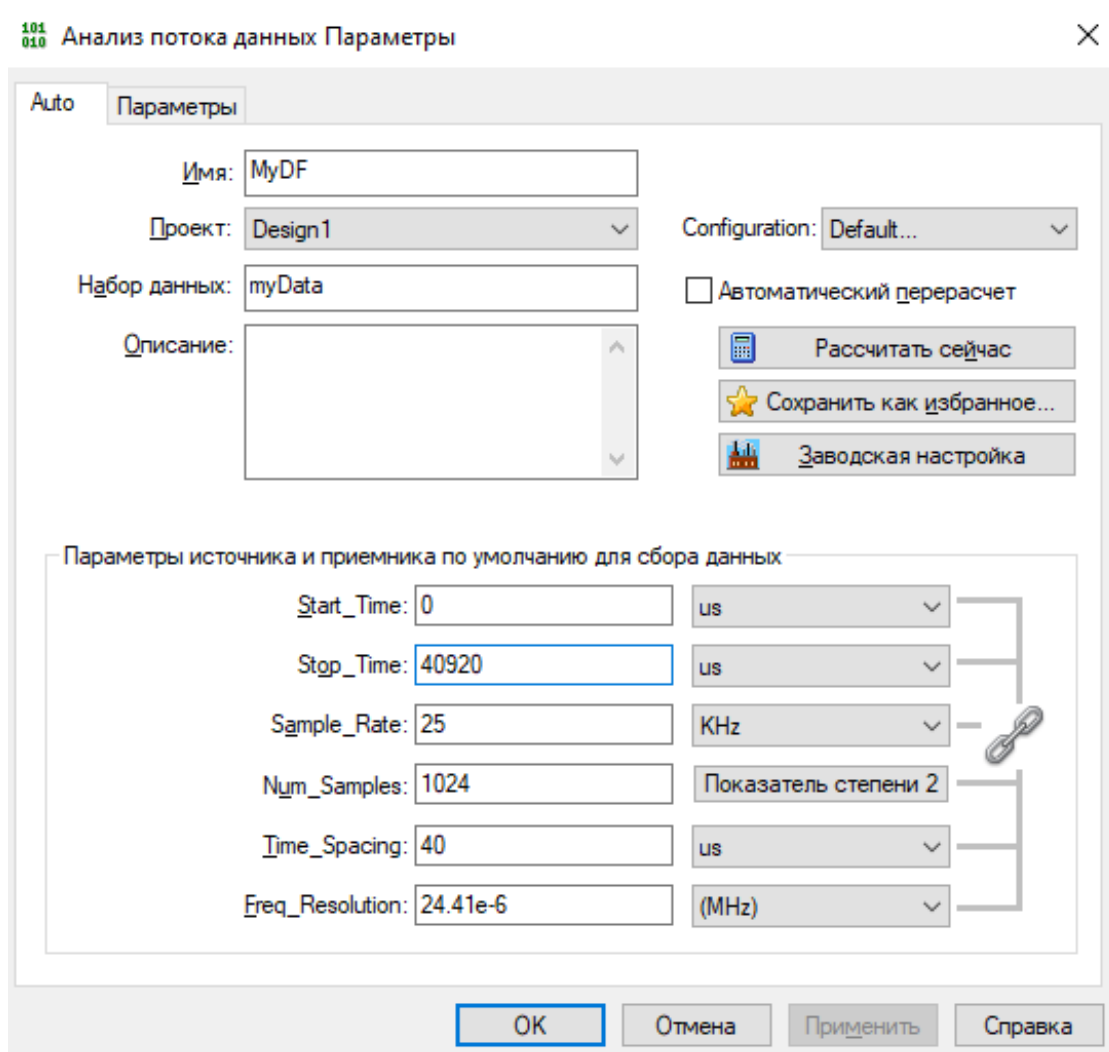


Рисунок 2.10 – Окно настроек анализа

Теперь чтобы получить данные нужно подключить блок Sink (см. рис. 2.11).

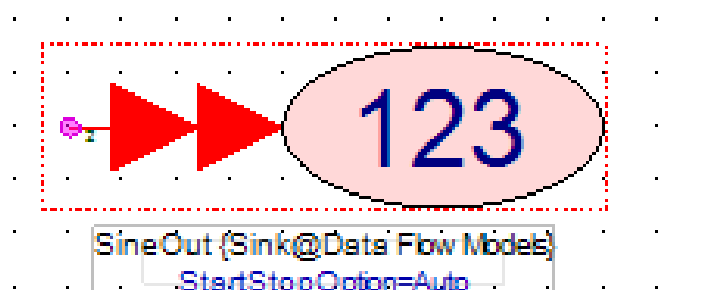


Рисунок 2.11 – Блок вывода sink

Этому блоку можно дать название если зайти в его настройки. Пусть этот блок будет называться SineOut (см. рис. 2.12).

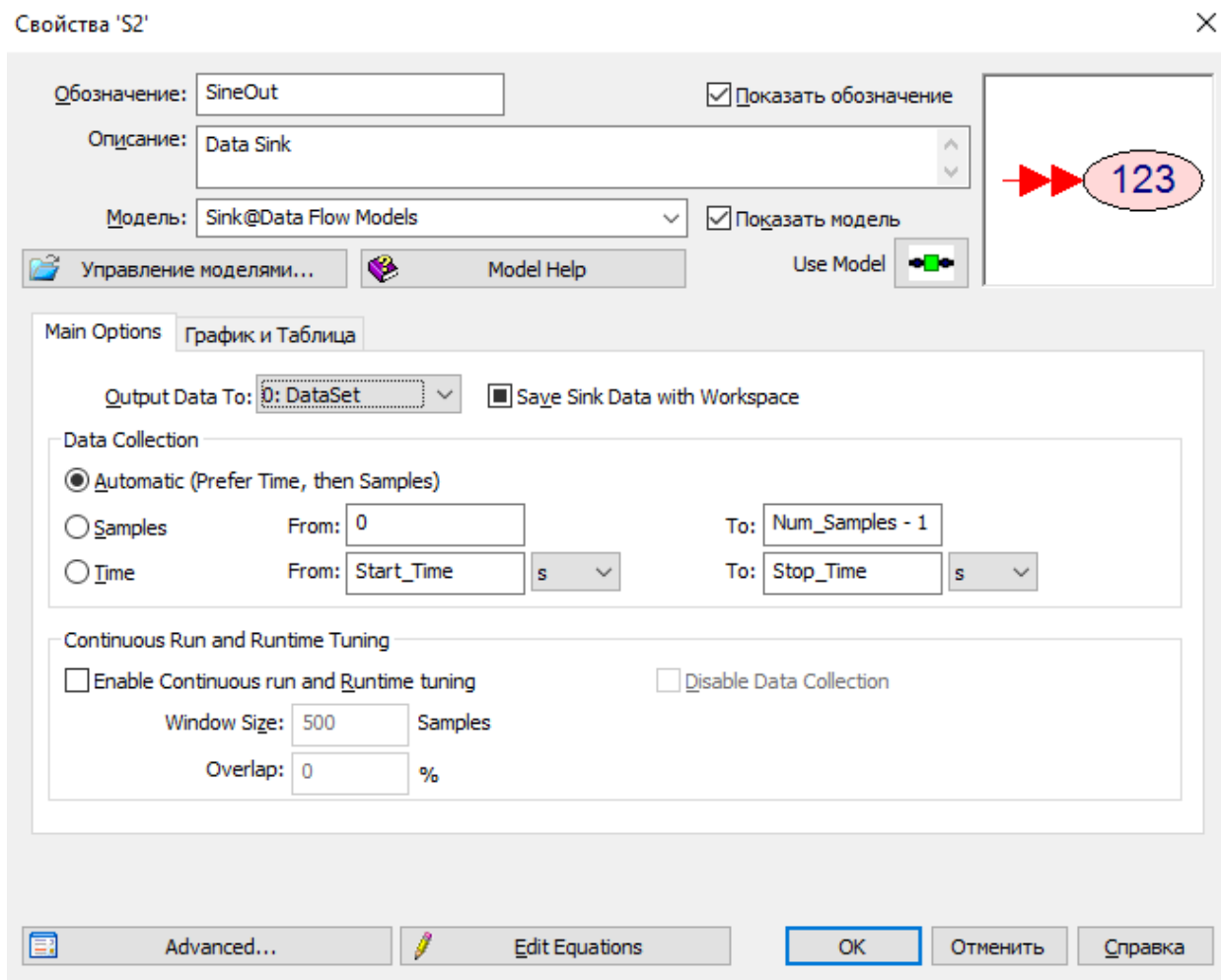


Рисунок 2.12 – Окно параметров блока sink

В разделе сбор данных можно выбрать собирать все данные, выбрать диапазон от X до Y или отфильтровать по времени.

Чтобы соединить два блока нужно навести курсор на розовый кружок нажать и перетащить к другому контакту.

Ещё один способ соединить компоненты — это подвести их контактами друг к другу.

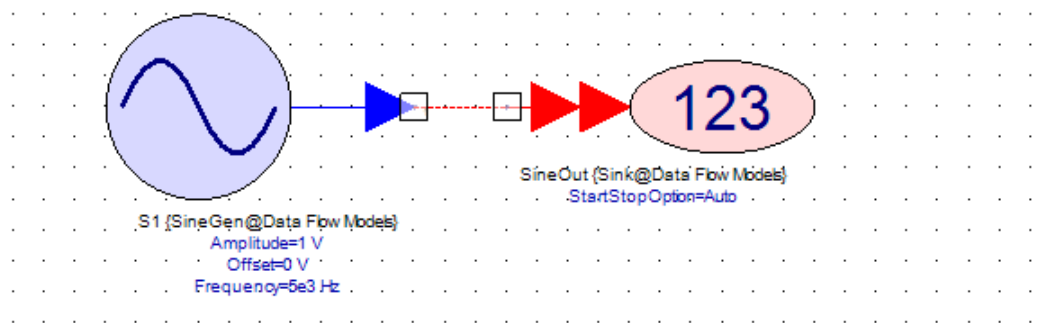


Рисунок 2.13 – Соединённые блоки

Чтобы запустить симуляцию нужно нажать на кнопку Run (зелёная стрелка), или нажать правой кнопкой на симуляцию и в списке выбрать Run (см. рис. 2.14).

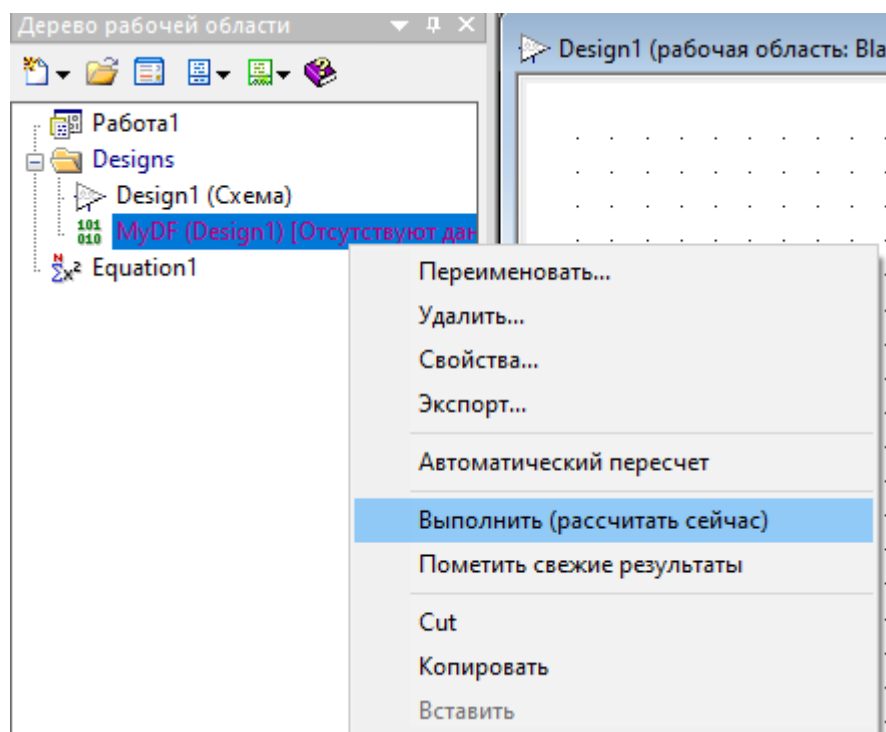
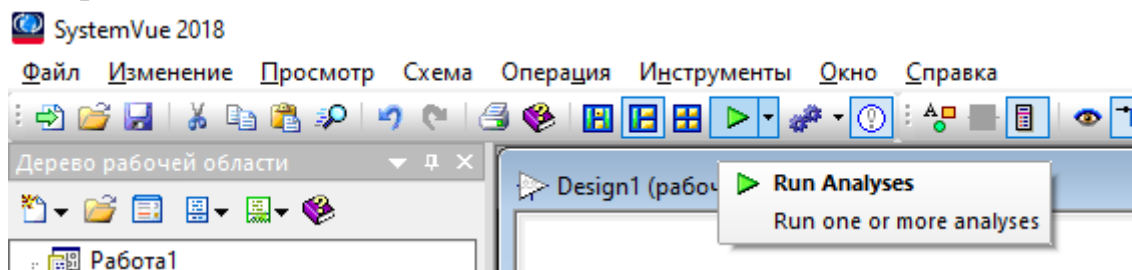


Рисунок 2.14 – Способ запуска анализа

После запуска симуляции в древе появятся данные.

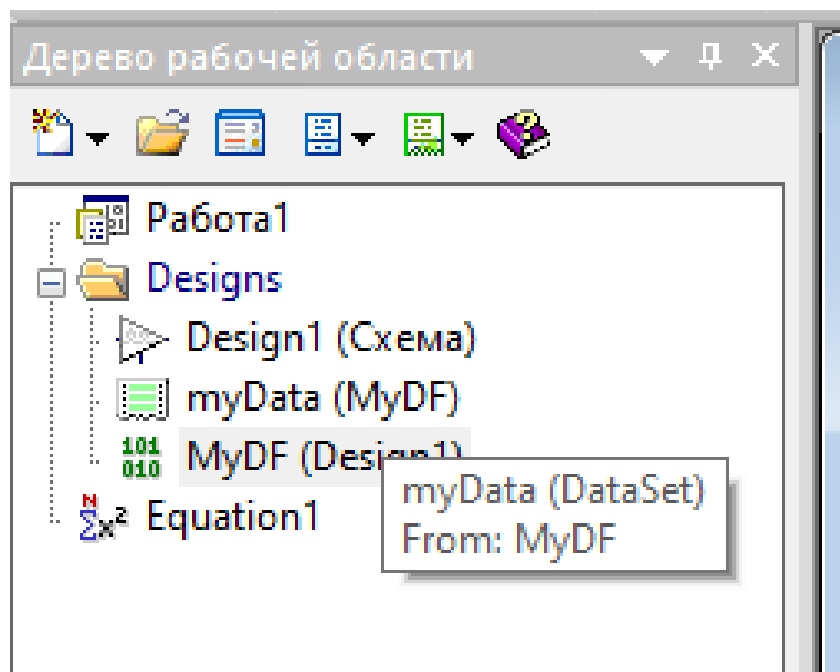


Рисунок 2.15 – Древо рабочей области после анализа

Если дважды щёлкнуть на набор данных, то откроются данные, которые получились после симуляции.

В этой таблице будет пункт SineOut, это название синхронизации, если не переименовать синхронизацию, то он будет называться по умолчанию как S2 или любое другое число.

Переменная	Индекс	SineOut_Time (s)	SineOut
LogOutput=Data Flow Analysis : MyDF 30.05.2...	1	0	0
SineOut	2	40e-6	0.951
SineOut_Time	3	80e-6	0.588
	4	120e-6	-0.588
	5	160e-6	-0.951
	6	200e-6	0
	7	240e-6	0.951
	8	280e-6	0.588
	9	320e-6	-0.588
	10	360e-6	-0.951
	11	400e-6	0
	12	440e-6	0.951
	13	480e-6	0.588
	14	520e-6	-0.588
	15	560e-6	-0.951
	16	600e-6	0
	17	640e-6	0.951
	18	680e-6	0.588
	19	720e-6	-0.588
	20	760e-6	-0.951
	21	800e-6	0
	22	840e-6	0.951
	23	880e-6	0.588

Variable: SineOut
Real Array[1024]

Рисунок 2.16 – Данные анализа

Чтобы построить график нужно правой кнопкой мыши нажать на SineOut и из списка выбрать «Добавить график» и нажать на «Новый график» (см. рис. 2.17, 2.18).

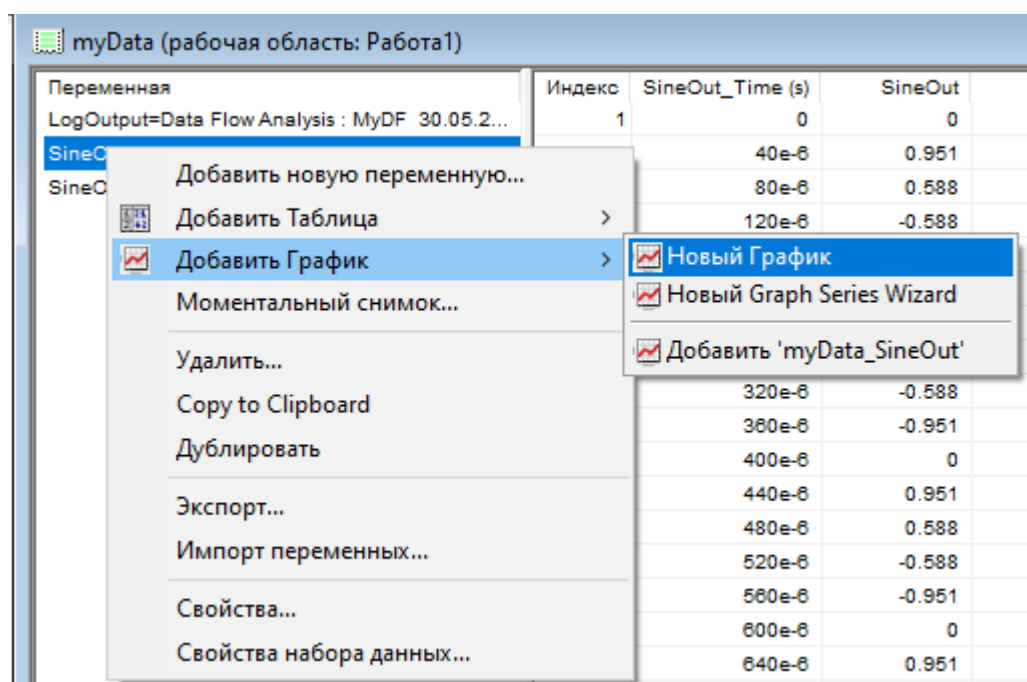


Рисунок 2.17 – Построение графика

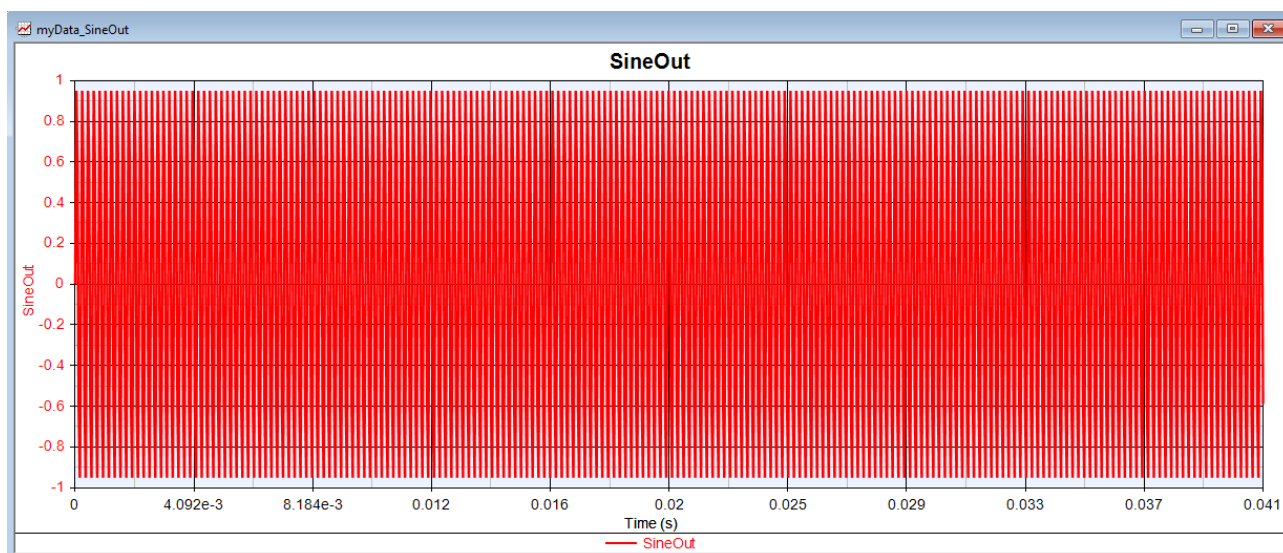


Рисунок 2.18 – График по данным после анализа

Колёсиком мыши можно менять масштаб графика.

Можно построить график другим способом, нужно нажать на папку ПКМ и выбрать в списке Graph, после открывается окно настройки графика.

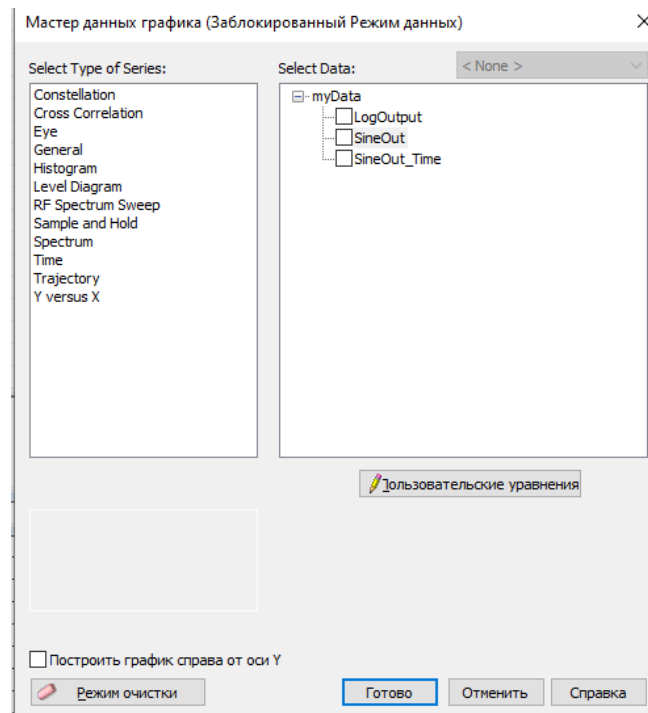


Рисунок 2.19 – Мастер данных графика

В левом столбце находятся различные виды постобработки. К примеру, построим спектр по нашим данным. Для этого нужно из списка выбрать Spectrum, и справа появится список данных, по которым мы можем построить графики, так как у нас один вывод то с права будет только один список данных (см. рис. 2.20).

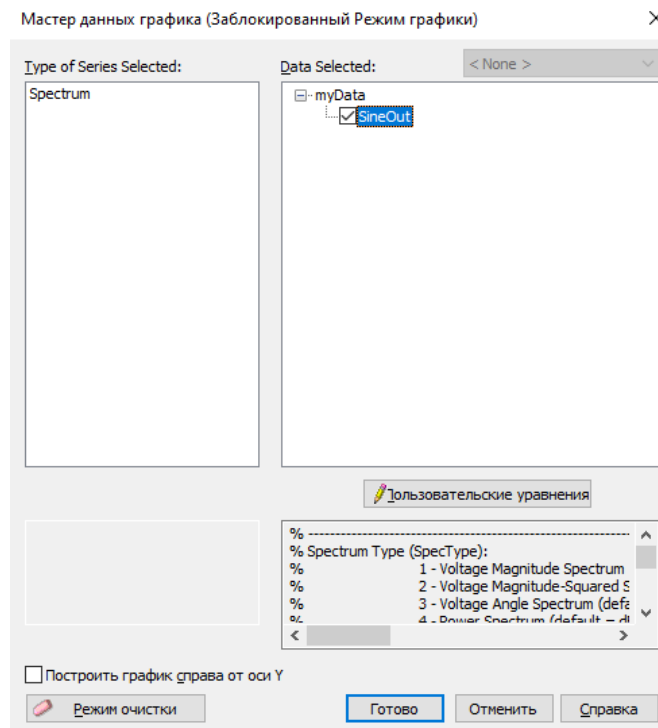


Рисунок 2.20 – Выбор типа графика

Нужно поставить галочку и нажать ОК. После появляется окно настройки графика (см. рис. 2.21).

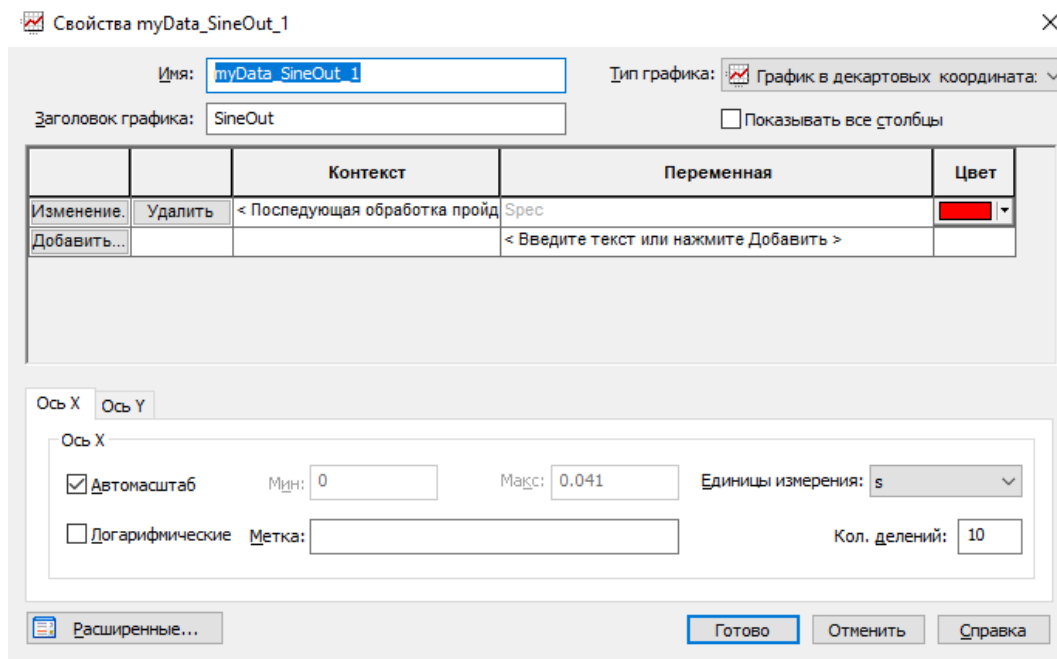


Рисунок 2.21 – Параметры графика

В этом поле можно изменить название графика, свет линии, дальше нажимаем ОК и получаем спектрограмму нашего сигнала (см. рис. 2.22).

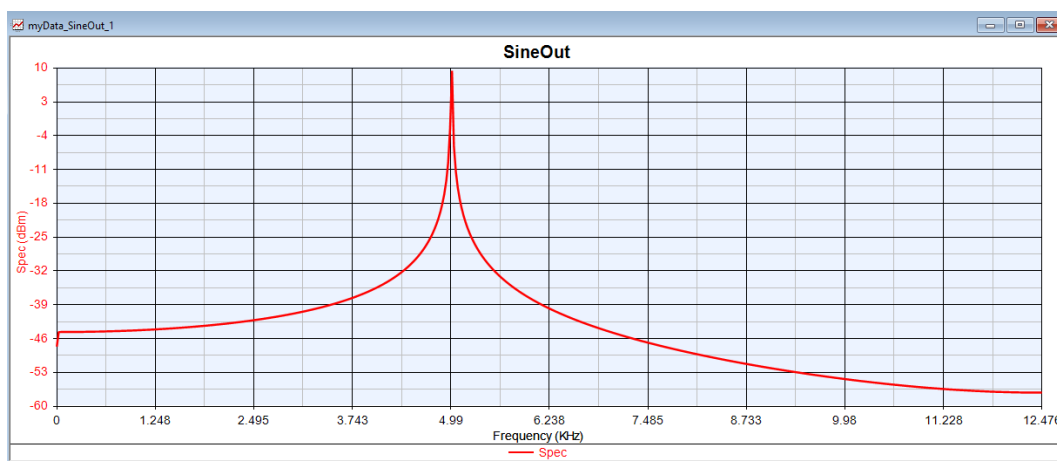


Рисунок 2.22 – Спектр на основе данных после симуляции

Чтобы добавить маркер на графике, просто щёлкните ЛКМ в любом месте на графике.

Можно открыть несколько графиков рядом, для этого нужно нажать. В верхней части на «Окно» и выбрать расположение либо вертикальное, либо горизонтальное (Tile Horizontal, Tile Vertical). Если какое-то окно не нужно его можно закрыть (см. рис. 2.23).

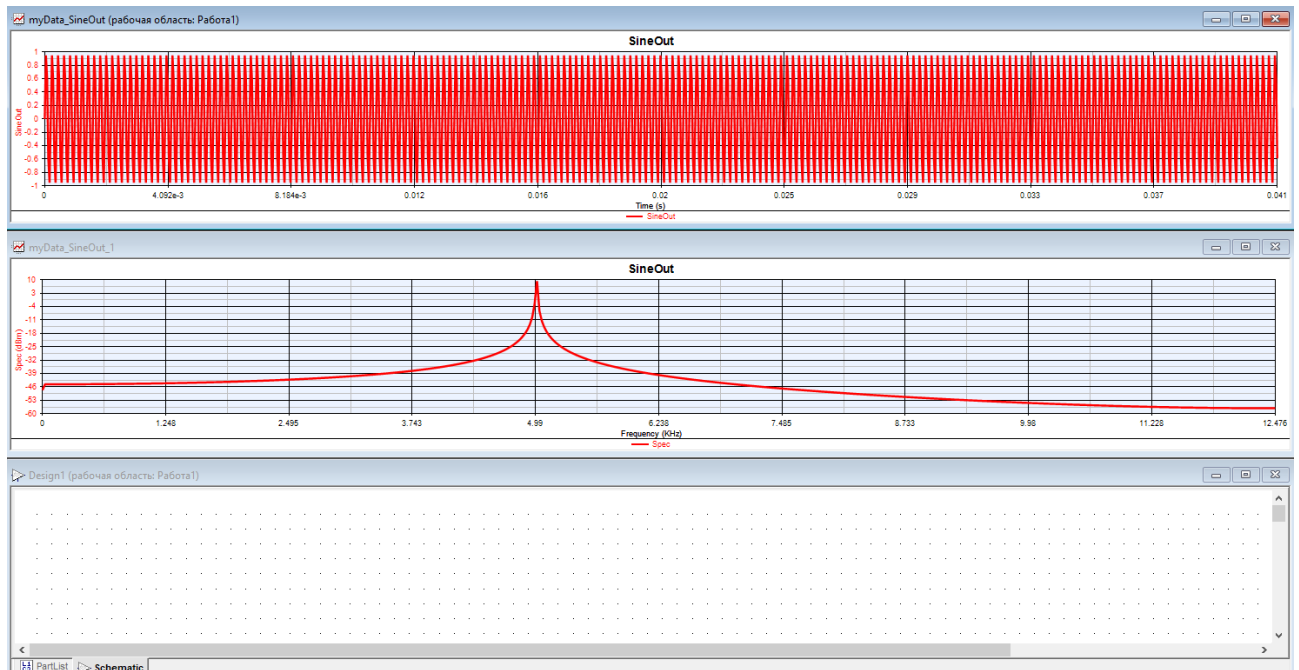


Рисунок 2.23 – График и спектр на основе данных анализа

3 СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Ниже приводятся примерные темы и содержание лабораторных работ. При проведении лабораторных работ преподавателем называется тема и цель работы, устно даются необходимые сведения из теории, описывается ход работы, ожидаемые к получению результаты, вопросы на допуск к лабораторной работе.

3.1 Лабораторная работа на тему «Электронная модель имитатора цифрового сигнала на промежуточной частоте»

3.1.1 Методические указания к выполнению работы

Цель работы: Освоение методов моделирования цифровых сигналов на промежуточной частоте (ПЧ) в среде SystemVue. Изучение принципов генерации, модуляции и обработки цифровых сигналов. Анализ спектральных и временных характеристик сигнала ПЧ.

Методические указания к выполнению лабораторной работы:

- Подготовка проекта в SystemVue
 - Запустите SystemVue и создайте новый проект.
 - Выберите шаблон для цифровой связи (Digital Communications).
- Генерация цифрового сигнала
 - Добавьте блок Data Source (источник данных).
Настройте тип модуляции (например, QPSK).
Задайте частоту дискретизации (F_s) и символьную скорость (Symbol Rate).
 - Добавьте блок Pulse Shaping Filter (формирователь импульсов, например, Root Raised Cosine).
- Перенос спектра на промежуточную частоту
 - Добавьте генератор несущей (Sinusoid Source) с частотой ПЧ (например, 70 МГц).
 - Используйте блок Mixer для перемножения сигнала и несущей.
 - Добавьте Bandpass Filter для выделения сигнала ПЧ.
- Анализ сигнала
 - Подключите Spectrum Analyzer для оценки спектра.
 - Используйте Time Viewer для наблюдения формы сигнала.

– Проверьте EVM (Error Vector Magnitude) для оценки качества модуляции.

- Анализ приёмного тракта
 - Измените частоту ПЧ, тип модуляции, параметры фильтра.
 - Проанализируйте, как это влияет на сигнал.

3.1.2 Контрольные вопросы

- Какие виды модуляции можно использовать в имитаторе ПЧ?
- Как выбор частоты ПЧ влияет на сложность фильтрации?
- Какие искажения могут возникнуть при переносе спектра?
- Как оценить качество сформированного сигнала ПЧ?

3.1.3 Содержание отчета

1. Отчёт оформляется в соответствии с текущим образовательным стандартом ТУСУР [5] и содержит следующие элементы:

- 1) Титульный лист, оформленный в соответствии с приложением А;
- 2) Цель работы;
- 3) Краткое изложение задания своими словами.
- 4) Основная часть (результаты выполнения пунктов заданий, иллюстрации с пояснениями). В основной части достаточно привести только те графики или таблицы из пунктов заданий, по которым будут сделаны выводы.
- 5) Выводы. В этом разделе кратко излагаются основные результаты лабораторной работы: каждый исполнитель лабораторной работы должен изложить свой результат и дать этому результату ясное объяснение. При написании выводов рекомендуется ссылаться на результаты работы, рисунки, таблицы и т. д. При выполнении лабораторной работы в группе каждый участник группы должен написать хотя бы один вывод. При этом выводы следует пронумеровать и указать авторов выводов.

Вывод должен содержать:

- I: наблюдаемый факт по результатам выполнения работы;
- II: ссылки на номера рисунков и таблиц, подтверждающих наблюдаемый факт;
- III: объяснение наблюдаемого факта.

2. Требования к оформлению графиков в отчёте:

- 1) Все графики должны быть чёткими и наглядными;
- 2) Каждый график должен иметь подпись, поясняющий график;
- 3) Оси на графиках должны быть подписаны, на осях указаны единицы измерения;
- 4) На графиках должна быть изображена сетка.

3.2 Лабораторная работа на тему «Электронная модель конвертера радиоприёмного устройства»

3.2.1 Методические указания к выполнению работы

Цель работы: Изучение принципов работы и проектирования конвертера радиоприёмного устройства (РПУ). Освоение методов моделирования смесителей, гетеродинов и фильтров в среде SystemVue. Анализ характеристик преобразования частоты и подавления побочных каналов приёма.

Методические указания к выполнению лабораторной работы:

- Подготовка проекта в SystemVue
 - Запустите SystemVue и создайте новый проект (File → New → Workspace).
 - Выберите шаблон RF Architect для работы с радиочастотными компонентами.
- Формирование входного сигнала
 - Добавьте источник сигнала (Sinusoid Source) с частотой радиочастотного (РЧ) диапазона (например, 2 ГГц).
 - Настройте амплитуду и частоту модуляции (при необходимости).
- Добавление гетеродина (LO)
 - Используйте блок Sinusoid Source для генерации сигнала локального осциллятора (например, 1.9 ГГц).
 - Установите стабильную частоту и минимальный уровень фазового шума.
- Моделирование смесителя
 - Добавьте блок Mixer (нелинейный элемент).

Подключите к нему:

 - Входной РЧ-сигнал.
 - Сигнал гетеродина (LO).

Настройте параметры смесителя:

 - Коэффициент преобразования.
 - Уровень интермодуляционных искажений (IMD3, IMD5).
- Фильтрация сигнала ПЧ
 - Добавьте полосовой фильтр (Bandpass Filter) с центральной частотой ПЧ (например, 100 МГц).

Задайте:

Полосу пропускания (по уровню -3 дБ).
Крутизну скатов (например, 40 дБ/дек).

- Анализ характеристик
 - Подключите Spectrum Analyzer для оценки:
 - Уровня полезного сигнала на ПЧ.
 - Подавления зеркального канала.
 - Уровня побочных излучений.
 - Используйте Time Viewer для наблюдения формы сигнала.
 - Проверьте коэффициент шума (Noise Figure) с помощью соответствующего блока.

3.2.2 Контрольные вопросы

- Какие типы смесителей используются в конвертерах РПУ?
- Как выбор частоты гетеродина влияет на подавление зеркального канала?
- Какие нелинейные эффекты возникают в смесителе и как их минимизировать?
- Почему важна фильтрация сигнала ПЧ?

3.2.3 Содержание отчета

1. Отчёт оформляется в соответствии с текущим образовательным стандартом ТУСУР [5] и содержит следующие элементы:

- 1) Титульный лист, оформленный в соответствии с приложением А;
- 2) Цель работы;
- 3) Краткое изложение задания своими словами.
- 4) Основная часть (результаты выполнения пунктов заданий, иллюстрации с пояснениями). В основной части достаточно привести только те графики или таблицы из пунктов заданий, по которым будут сделаны выводы.
- 5) Выводы. В этом разделе кратко излагаются основные результаты лабораторной работы: каждый исполнитель лабораторной работы должен изложить свой результат и дать этому результату ясное объяснение. При написании выводов рекомендуется ссылаться на результаты работы, рисунки, таблицы и т. д. При выполнении лабораторной работы в группе каждый участник группы должен написать хотя бы один вывод. При этом выводы следует пронумеровать и указать авторов выводов.

Вывод должен содержать:

- I: наблюдаемый факт по результатам выполнения работы;

- II: ссылки на номера рисунков и таблиц, подтверждающих наблюдаемый факт;
- III: объяснение наблюдаемого факта.

2. Требования к оформлению графиков в отчёте:

- 1) Все графики должны быть чёткими и наглядными;
- 2) Каждый график должен иметь подпись, поясняющий график;
- 3) Оси на графиках должны быть подписаны, на осях указаны единицы измерения;
- 4) На графиках должна быть изображена сетка.

3.3 Лабораторная работа на тему «Электронные модели аналоговых детекторов радиосигналов радиоприёмных устройств в среде SystemVue»

3.3.1 Методические указания к выполнению работы

Цель работы: Изучение принципов работы и характеристик различных типов детекторов радиосигналов. Освоение методов моделирования амплитудных (АМ), частотных (ЧМ) и фазовых (ФМ) демодуляторов в среде SystemVue. Анализ качества демодуляции сигналов в условиях помех и нелинейных искажений.

Методические указания к выполнению лабораторной работы:

- Подготовка проекта в SystemVue
 - Создайте новый проект (File → New → Workspace).
 - Выберите шаблон Digital Communications или RF Architect.
- Генерация модулированного сигнала
 - Добавьте источник информации (Data Source) — например, синусоидальный сигнал (для аналоговой модуляции).
 - Используйте модулятор (AM Modulator, FM Modulator или PM Modulator), задав параметры:
 - Несущая частота (например, 100 МГц).
 - Глубина модуляции (для АМ).
 - Девияция частоты (для ЧМ).
- Добавление канала с помехами
 - Подключите блок AWGN Channel (аддитивный белый гауссовский шум).
 - Установите уровень шума (например, SNR = 20 дБ).
- Моделирование детекторов

Для АМ-сигнала:

- Добавьте Envelope Detector (детектор огибающей) или Synchronous Demodulator (синхронный детектор).
- Настройте параметры фильтра нижних частот (ФНЧ) для подавления высокочастотных составляющих.

Для ЧМ-сигнала:

- Используйте FM Demodulator (частотный детектор).
- Проверьте работу PLL (Phase-Locked Loop) для улучшения качества демодуляции.

Для ФМ-сигнала:

- Примените Phase Detector (фазовый детектор) с опорным сигналом.
- Анализ результатов
 - Подключите Time Viewer для сравнения исходного и демодулированного сигналов.
 - Используйте Spectrum Analyzer для оценки подавления помех.

3.3.2 Контрольные вопросы

- Чем отличается синхронный детектор от детектора огибающей?
- Как девиация частоты влияет на качество ЧМ-демодуляции?
- Какие искажения возникают при недостаточной полосе ФНЧ в АМ-детекторе?
- Почему PLL улучшает демодуляцию ЧМ/ФМ-сигналов?

3.3.3 Содержание отчета

1. Отчёт оформляется в соответствии с текущим образовательным стандартом ТУСУР [5] и содержит следующие элементы:
 - 1) Титульный лист, оформленный в соответствии с приложением А;
 - 2) Цель работы;
 - 3) Краткое изложение задания своими словами.
 - 4) Основная часть (результаты выполнения пунктов заданий, иллюстрации с пояснениями). В основной части достаточно привести только те графики или таблицы из пунктов заданий, по которым будут сделаны выводы.
 - 5) Выводы. В этом разделе кратко излагаются основные результаты лабораторной работы: каждый исполнитель лабораторной работы должен изложить свой результат и дать этому результату ясное объяснение. При написании выводов рекомендуется ссылаться на результаты работы, рисунки, таблицы и т. д. При выполнении лабораторной работы в группе каждый участник группы должен написать хотя бы один вывод. При этом выводы следует пронумеровать и указать авторов выводов.

Вывод должен содержать:

- I: наблюдаемый факт по результатам выполнения работы;
- II: ссылки на номера рисунков и таблиц, подтверждающих наблюдаемый факт;
- III: объяснение наблюдаемого факта.

2. Требования к оформлению графиков в отчёте:

- 1) Все графики должны быть чёткими и наглядными;
- 2) Каждый график должен иметь подпись, поясняющий график;
- 3) Оси на графиках должны быть подписаны, на осях указаны единицы измерения;
- 4) На графиках должна быть изображена сетка.

3.4 Лабораторная работа на тему «Электронные модели демодуляторов цифровых радиосигналов радиоприёмных устройств в среде SystemVue»

3.4.1 Методические указания к выполнению работы

Цель работы: Изучение принципов работы демодуляторов цифровых сигналов (QPSK, QAM, FSK). Освоение методов моделирования цифровой демодуляции в среде SystemVue.

Методические указания к выполнению лабораторной работы:

- Подготовка проекта в SystemVue
 - Создайте новый проект (File → New → Workspace).
 - Выберите шаблон Digital Communications.
- Генерация цифрового сигнала
 - Добавьте блок Data Source (источник данных).
 - Выберите тип модуляции (например, QPSK).
 - Задайте скорость символов (Symbol Rate).
 - Используйте блок Pulse Shaping Filter (формирователь импульсов, например, Root Raised Cosine).
- Модуляция сигнала
 - Добавьте модулятор (QPSK Modulator, 16-QAM Modulator).
 - Настройте параметры:
 - Несущая частота (например, 100 МГц).
 - Отношение несущая/сигнал (C/N).
- Моделирование канала связи
 - Добавьте блок AWGN Channel (гауссовский шум).
 - Установите SNR (например, 15 дБ).
 - * Для исследования влияния многолучевости используйте блок Multipath Channel.
- Демодуляция цифрового сигнала
 - Добавьте демодулятор (QPSK Demodulator, QAM Demodulator).
 - Настройте параметры:
 - Тип демодуляции (когерентная/некогерентная).
 - Алгоритм восстановления несущей (Costas Loop для PSK).
 - Подключите блок Symbol Sink для приёма символов.
- Анализ результатов
 - Используйте Constellation Diagram для анализа созвездия.

- Подключите BER Analyzer для расчёта коэффициента ошибок.
- Оцените EVM с помощью блока Error Vector Magnitude.

В качестве дополнительного задания, студентам предлагается:

- Исследовать адаптивные алгоритмы демодуляции.
- Сравнить эффективность разных типов модуляции.
- Добавить коррекцию ошибок (FEC) в модель.

3.4.2 Контрольные вопросы

- Чем отличается когерентная демодуляция от некогерентной?
- Как влияет выбор фильтра на форму сигнала?
- Какие методы используются для компенсации многолучевости?
- Как SNR влияет на BER для разных типов модуляции?

3.4.3 Содержание отчета

1. Отчёт оформляется в соответствии с текущим образовательным стандартом ТУСУР [5] и содержит следующие элементы:

- 1) Титульный лист, оформленный в соответствии с приложением А;
- 2) Цель работы;
- 3) Краткое изложение задания своими словами.
- 4) Основная часть (результаты выполнения пунктов заданий, иллюстрации с пояснениями). В основной части достаточно привести только те графики или таблицы из пунктов заданий, по которым будут сделаны выводы.
- 5) Выводы. В этом разделе кратко излагаются основные результаты лабораторной работы: каждый исполнитель лабораторной работы должен изложить свой результат и дать этому результату ясное объяснение. При написании выводов рекомендуется ссылаться на результаты работы, рисунки, таблицы и т. д. При выполнении лабораторной работы в группе каждый участник группы должен написать хотя бы один вывод. При этом выводы следует пронумеровать и указать авторов выводов.

Вывод должен содержать:

- I: наблюдаемый факт по результатам выполнения работы;
- II: ссылки на номера рисунков и таблиц, подтверждающих наблюдаемый факт;
- III: объяснение наблюдаемого факта.

2. Требования к оформлению графиков в отчёте:

- 1) Все графики должны быть чёткими и наглядными;
- 2) Каждый график должен иметь подпись, поясняющий график;
- 3) Оси на графиках должны быть подписаны, на осях указаны единицы измерения;
- 4) На графиках должна быть изображена сетка.

3.5 Лабораторная работа на тему «Электронные модели систем автоматического регулирования радиоприёмных устройств в среде SystemVue»

3.5.1 Методические указания к выполнению работы

Цель работы: Изучение принципов работы систем автоматического регулирования (САР) в радиоприёмных устройствах (АРУ, АПЧ, АРУФ). Освоение методов моделирования САР в среде SystemVue. Анализ динамических характеристик систем регулирования (время установления, перерегулирование, устойчивость).

Методические указания к выполнению лабораторной работы:

- Подготовка проекта в SystemVue
 - Запустите SystemVue и создайте новый проект (File → New → Workspace).
 - Выберите шаблон RF Architect или Control Systems.
- Моделирование системы АРУ (Автоматическая регулировка усиления)
 - Создайте электронную модель источника сигнала и приёмника:
 - Источник сигнала (Sinusoid Source с изменяемой амплитудой).
 - Управляемый усилитель (Variable Gain Amplifier).
 - Детектор огибающей (Envelope Detector).
 - Добавьте блок PI-регулятора для управления усилением.
 - Исследуйте реакцию системы на:
 - Скачок амплитуды входного сигнала.
 - Медленные и быстрые изменения уровня сигнала.
- Моделирование системы АПЧ (Автоматическая подстройка частоты)
 - Создайте электронную модель:
 - Гетеродин с управляемой частотой (VCO).
 - Фазовый детектор (Phase Detector).
 - Фильтр нижних частот (LPF) и усилитель ошибки.
 - Подайте сигнал с отклонением частоты и проанализируйте работу системы.
- Анализ характеристик САР
 - Используйте Time Viewer для оценки:
 - Времени установления.
 - Перерегулирования.
 - Постройте АЧХ и ФЧХ системы с помощью Bode Plotter.

- Исследование устойчивости
 - Добавьте в систему задержку и оцените её влияние на устойчивость.
 - Подберите параметры регулятора (K_p , K_i) для оптимального отклика.

Примечание: Для выполнения работы используйте стандартные блоки SystemVue:

- Control Library (для моделирования регуляторов).
- RF Components (для элементов радиотракта).
- Analysis Tools (для оценки характеристик).

3.5.2 Контрольные вопросы

- Какие типы САР применяются в радиоприёмниках и их назначение?
- Как выбор параметров PI-регулятора влияет на работу АРУ?
- Почему в системе АПЧ используется фазовый детектор?
- Какие факторы могут привести к неустойчивости САР?
- Как оценить качество работы системы автоматического регулирования?

3.5.3 Содержание отчета

1. Отчёт оформляется в соответствии с текущим образовательным стандартом ТУСУР [5] и содержит следующие элементы:

- 1) Титульный лист, оформленный в соответствии с приложением А;
- 2) Цель работы;
- 3) Краткое изложение задания своими словами.
- 4) Основная часть (результаты выполнения пунктов заданий, иллюстрации с пояснениями). В основной части достаточно привести только те графики или таблицы из пунктов заданий, по которым будут сделаны выводы.
- 5) Выводы. В этом разделе кратко излагаются основные результаты лабораторной работы: каждый исполнитель лабораторной работы должен изложить свой результат и дать этому результату ясное объяснение. При написании выводов рекомендуется ссылаться на результаты работы, рисунки, таблицы и т. д. При выполнении лабораторной работы в группе каждый участник группы должен написать хотя бы один вывод. При этом выводы следует пронумеровать и указать авторов выводов.

Вывод должен содержать:

- I: наблюдаемый факт по результатам выполнения работы;
- II: ссылки на номера рисунков и таблиц, подтверждающих наблюдаемый факт;

– III: объяснение наблюдаемого факта.

2. Требования к оформлению графиков в отчёте:

- 1) Все графики должны быть чёткими и наглядными;
- 2) Каждый график должен иметь подпись, поясняющий график;
- 3) Оси на графиках должны быть подписаны, на осях указаны единицы измерения;
- 4) На графиках должна быть изображена сетка.

3.6 Пример создания электронной модели на примере QPSK-модулятора

Сначала создайте пустой лист. Для некоторых блоков можно использовать комбинации чтобы их можно быстро ставить на рабочую область. Для начала поставим компонент Bit для этого нужно нажать В и ЛКМ на рабочую область. Добавим через библиотеку Mapper и CtToRect, добавим фильтр через клавишу F, добавим Modulator и добавим блок Spectrum. Всё соединяем (см. рис. 3.1.)

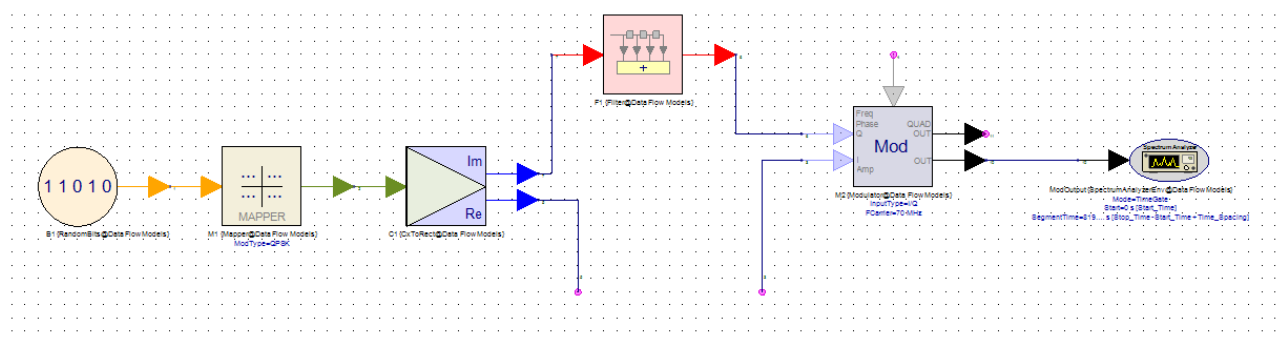


Рисунок 3.1 – Электронная модель QPSK модулятора

Теперь синтезируем фильтр. Нажимаем на него дважды и откроется окно настройки (см. рис.).

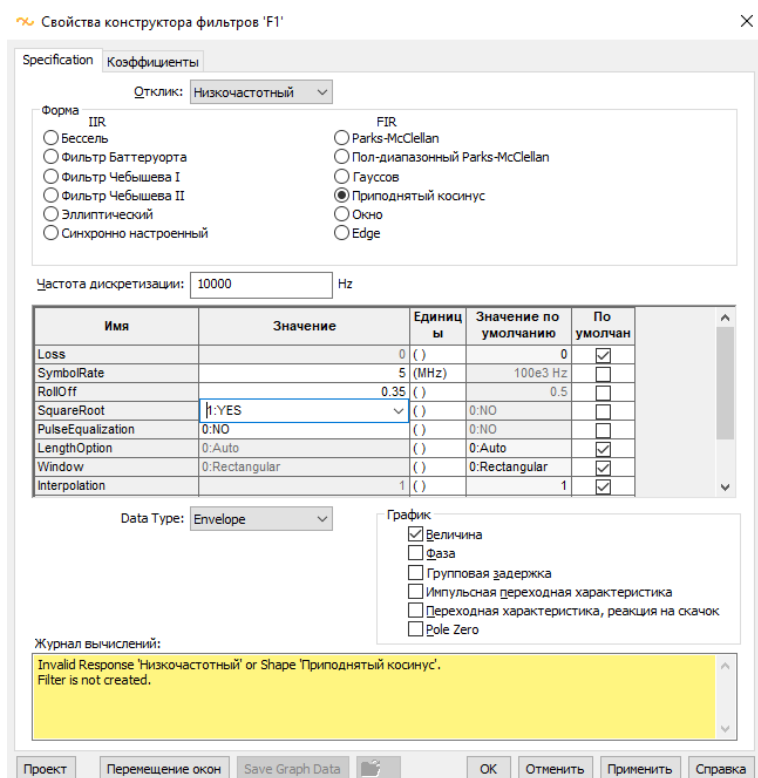


Рисунок 3.2 – Параметры фильтра

В столбце FIR выбираем «Приподнятый косинус», ставим частоту дискретизации 10МГц (Sample Rate), коэффициент усиления 5 МГц (SumbolRate), RollOff 0,35, включаем квадратный корень (SquareRoot). После нажимаем Design и получаем частотную характеристику нашего фильтра (см. рис. 3.3).

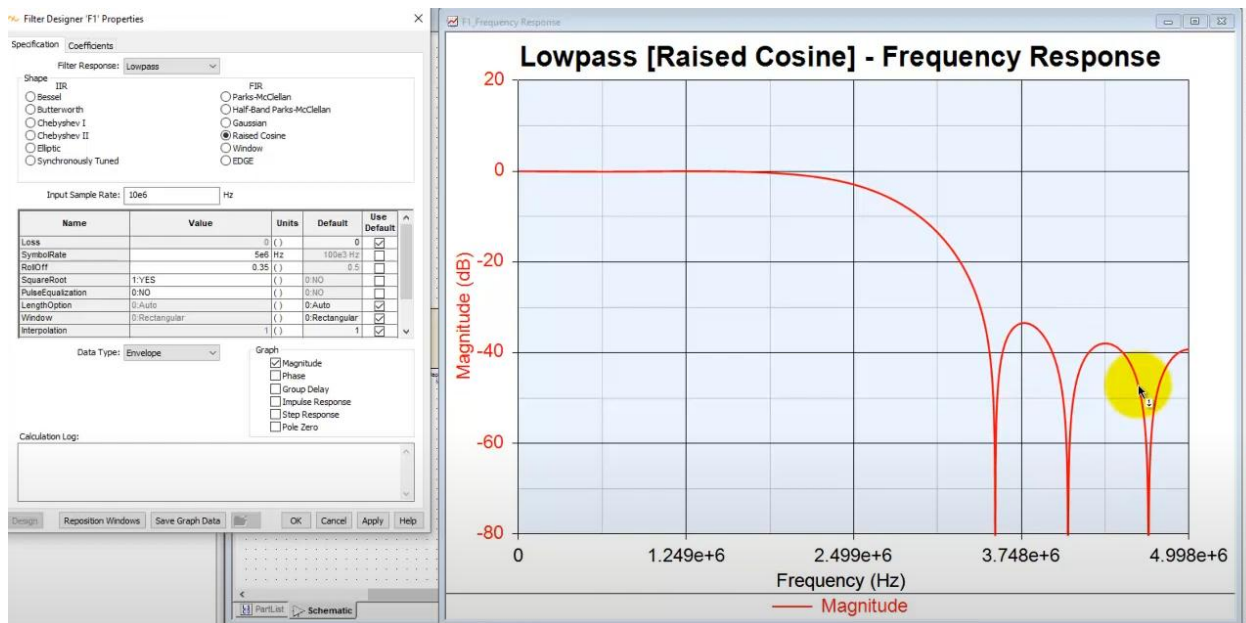


Рисунок 3.3 – Частотная характеристика фильтра

Чтобы улучшить частотную характеристику поставим коэффициент интерполяции 8, для этого нужно прокрутить список по середине и получим:

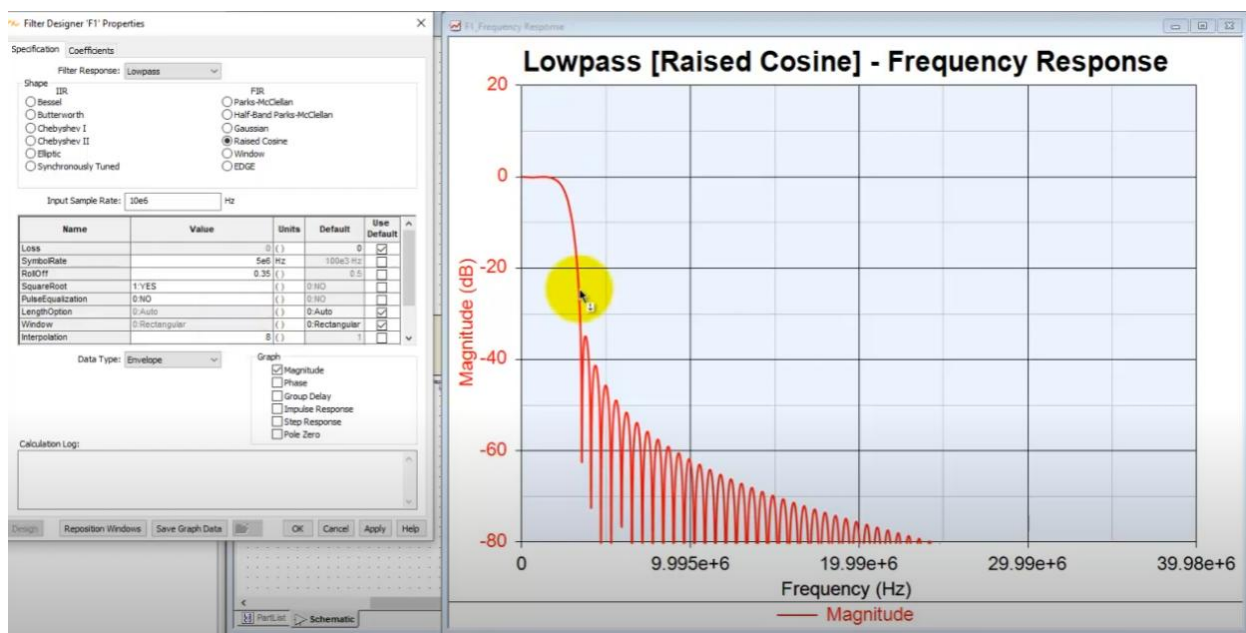


Рисунок 3.4 – Частотная характеристика фильтра с заданными параметрами

Также если выбрать галочки Impulse Response и Step Response, то можно посмотреть переходную характеристику фильтра и импульсную характеристику фильтра (см. рис. 3.5).

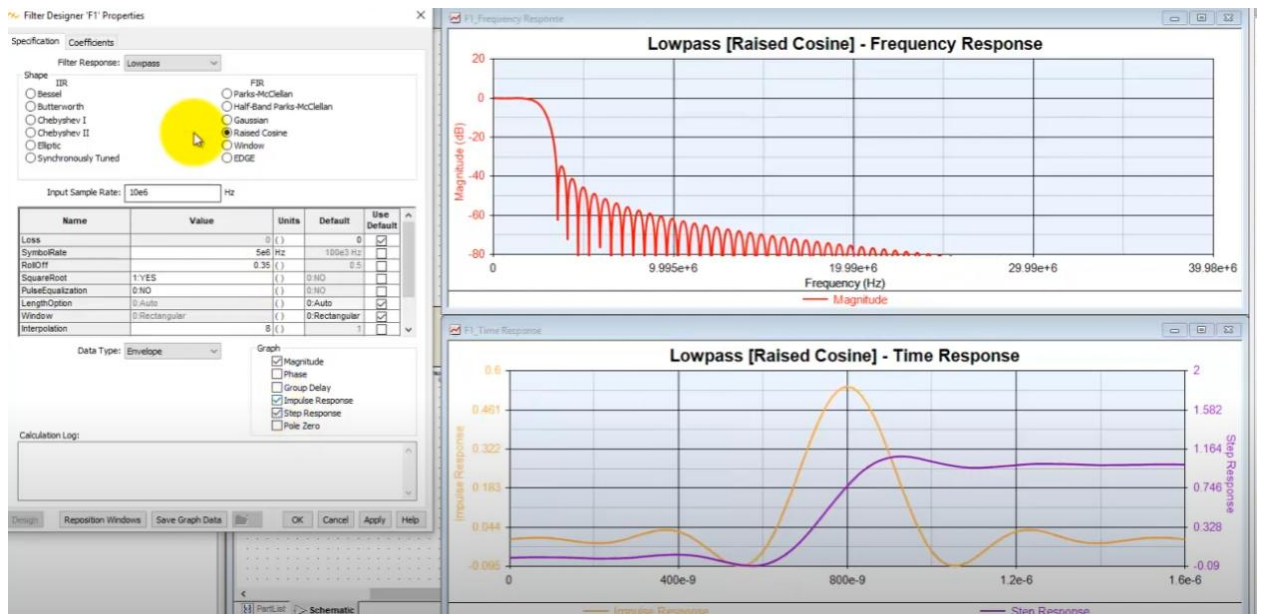


Рисунок 3.5 – Импульсная и переходная характеристика фильтра

Теперь скопируем получившийся фильтр и поставим в созданную ранее электронную модель (см. рис. 3.6).

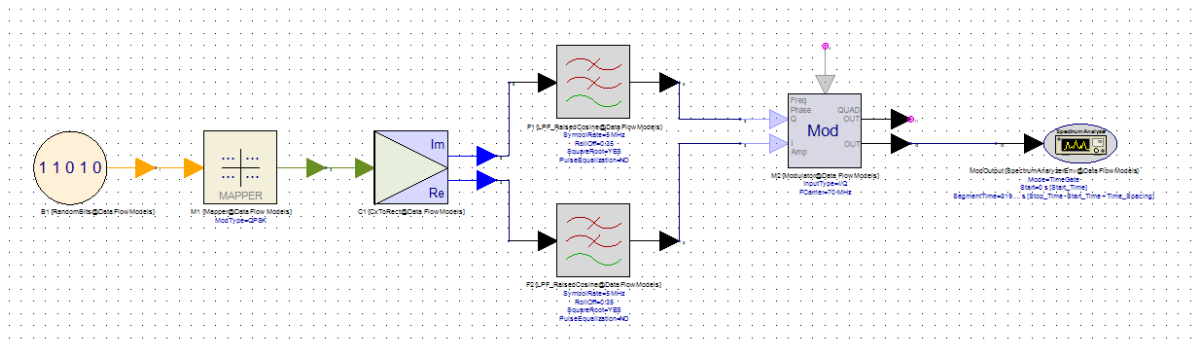


Рисунок 3.6 – Электронная модель QPSK модулятора

Далее сохраним файл как QPSK_Modulator, и настроим симуляцию. Название симуляции QPSKMod, а набор данных MoauklatorOutput. Частоту дискретизации должны поставить такую же, как и на фильтре 10МГц, количество выборок 8192, чтобы было удобнее переименуем вывод на ModOutput и запускаем симуляцию. Теперь создадим график амплитудного спектра (см. рис. 3.7).

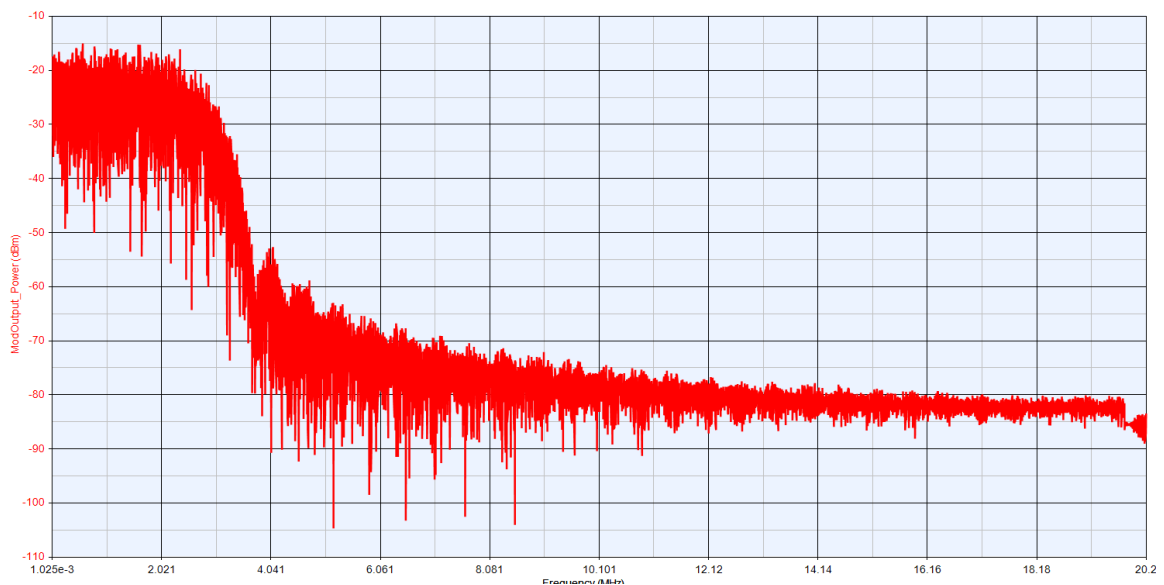


Рисунок 3.7 – Амплитудный спектр QPSK модулятора на нулевой промежуточной частоте с положительными частотами

Выходной сигнал модулятора не центрирован на нужной частоте, потому что мы не задали частоту для этого модулятора. Для этого заходим в настройки модулятора, и в поле FCarrier ставим 70МГц, запустим анализ ещё раз (см. рис. 3.8).

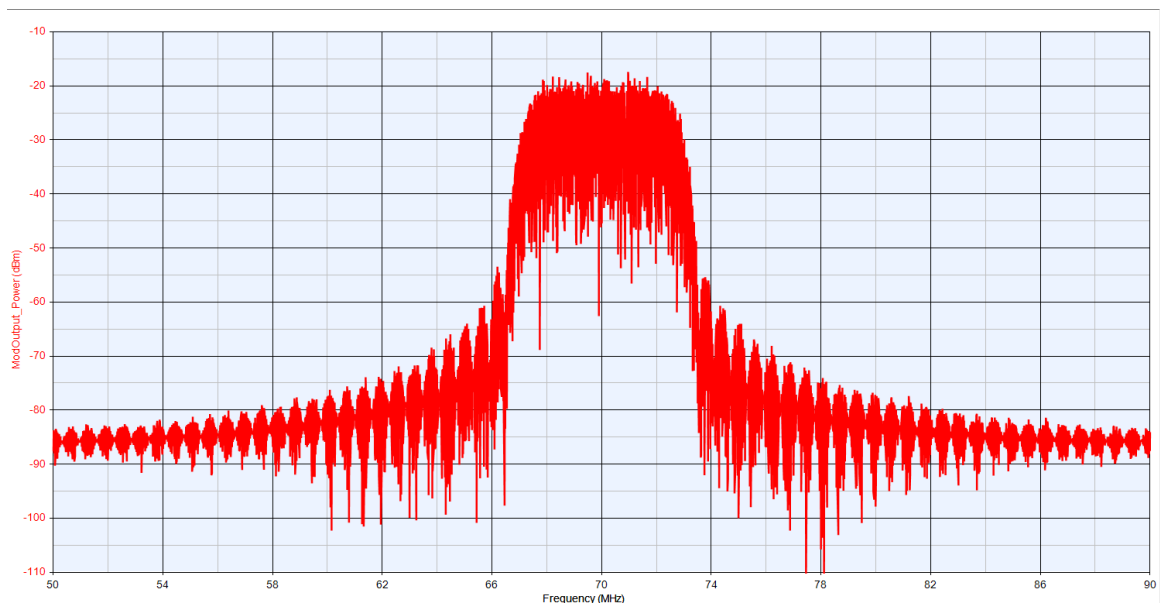


Рисунок 3.8 – Амплитудный спектр QPSK модулятора на нулевой промежуточной частоте с положительными и отрицательными частотами

Так выглядит выходной сигнал QPSK модулятора. Чтобы изменить его, дважды щёлкните на нём. При этом откроется диалоговое окно свойств. Нажав “edit” (изменить) в диалоговом окне, вы вернётесь в мастер создания диаграмм, где можете изменить уравнения диаграммы.

3.6.1 Контрольные вопросы

- Процесс создания структуры: Какие конкретные шаги и комбинации клавиш необходимо выполнить, чтобы изначально создать структуру на рабочей области, включая компоненты Bit, Mapper, CtToRect, фильтр, Modulator и Spectrum, и соединить их?
- Настройка фильтра FIR: Какие параметры необходимо установить в окне настройки фильтра, чтобы получить фильтр с характеристикой "Приподнятый косинус", и как изменятся его характеристики после установки коэффициента интерполяции равного 8?
- Диагностика и коррекция сигнала модулятора: Почему выходной сигнал модулятора после первой симуляции не был центрирован на нужной частоте, и какое конкретное изменение в настройках модулятора исправило эту проблему?
- Анализ характеристик фильтра: Какие дополнительные графики (помимо частотной характеристики) можно посмотреть для настроенного фильтра с поднятым косинусом, и какие функции в окне настройки фильтра нужно для этого активировать?
- Назначение компонентов и коррекция: Каково основное назначение компонента CtToRect в этой схеме модулятора, и как можно изменить базовые уравнения диаграммы модулятора, если результат на спектре не соответствует ожиданиям?

4 ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Виды самостоятельной работы студентов и соответствующая форма контроля представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Виды самостоятельной работы и форма контроля

№ п/п	Наименование работы	Форма контроля
1	Проработка лекционного материала	Конспект самоподготовки, опрос на занятиях
3	Подготовка к лабораторной работе	Конспект самоподготовки, опрос на занятиях
4	Подготовка к защите отчёта по лабораторной работе	Отчёт по лабораторной работе, опрос на занятиях

Виды самостоятельной работы студентов описаны ниже.

4.1 Проработка лекционного материала

Материалы лекций и рекомендуемая литература являются основой для изучения и освоения дисциплины. Самостоятельная работа в части проработки лекционного материала состоит в непосредственном конспектировании материалов лекций с последующим изучением этих материалов с использованием рекомендуемой литературы.

Схема составления конспекта:

- Определить тему материала и цель составления конспекта.
- Разделить лекционный материал на смысловые части, выделив основные тезисы и выводы.
- Сформулировать положения лекционного материала.
- Выделить основные термины, определения и формулы.
- Сформулировать вопросы к конспекту лекций.

4.2 Подготовка к тестированию

При подготовке к тестированию необходимо заблаговременно повторить лекционный материал, а также, при необходимости, соответствующий материал из рекомендованной литературы.

Вопросы к тестированию представлены в разделе **Ошибка! Источник с ссылки не найден..**

4.3 Подготовка к лабораторной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо заблаговременно повторить лекционный материал по соответствующей теме, в том числе из методических указаний по проведению лабораторных работ по данной дисциплине.

В ходе подготовки к лабораторным работам необходимо:

1. Узнать тему предстоящей лабораторной работы.
2. Вспомнить основной теоретический материал по соответствующей теме.
3. Ответить на контрольные вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы.
4. Ознакомиться с ходом выполнения работы.

4.4 Подготовка к защите отчёта по лабораторной работе

При подготовке к защите по лабораторной работе необходимо заблаговременно подготовить и оформить отчёт с результатами выполнения лабораторной работы, повторить лекционный материал по соответствующей теме, а также пользоваться методическими указаниями по проведению лабораторных работ по данной дисциплине.

Перед защитой к лабораторной работе необходимо:

1. Проверить отчёт к лабораторной работе, в том числе, ещё раз прочитать выводы по результатам выполнения лабораторной работы.
2. Осмыслить и осознать сделанные выводы к лабораторной работе. Дать физическую интерпретацию и объяснение полученным результатам.
3. Вспомнить основной теоретический материал по соответствующей теме.
4. Ответить на контрольные вопросы для выполнения лабораторной работы.

4.5 Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Во время самоподготовки рекомендуется обращаться к базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ:

- Библиотека ТУСУР: <https://lib.tusur.ru/>.
- Электронно-библиотечная система Издательства Лань: e.lanbook.com.
- Электронно-библиотечная система Юрайт: urait.ru.
- zbMATH: zbmath.org.
- Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы: <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh>.
- Информационно-аналитическая система Science Index РИНЦ: [https://elibrary.ru/defaultx.asp](http://elibrary.ru/defaultx.asp).

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания для выполнения лабораторных работ по моделированию радиоприёмных устройств (РПУ) в среде САПР обеспечивают системный подход к освоению современных методов проектирования и анализа радиоэлектронной аппаратуры. В ходе выполнения работ студенты:

– Освоили ключевые этапы проектирования РПУ:

- Моделирование отдельных узлов (усилителей, фильтров, смесителей, демодуляторов) и полных радиотрактов.
- Исследование линейных и нелинейных эффектов (искажений, шумов, интермодуляции).
- Оптимизацию параметров устройств с помощью инструментов автоматической настройки.

– Приобрели практические навыки работы с САПР:

- Использование специализированного ПО (SystemVue) для:
 - Генерации и анализа сигналов.
 - Моделирования аналоговых и цифровых систем связи.
 - Оценки устойчивости и помехоустойчивости РПУ.
 - Интерпретация результатов моделирования (спектры, осциллограммы, BER, EVM).
- Изучили влияние реальных факторов на работу РПУ:
- Воздействие помех, замираний, многолучевого распространения.
 - Неидеальности компонентов (фазовый шум гетеродинов, нелинейность усилителей).
 - Методы компенсации искажений (адаптивные алгоритмы, коррекция ошибок).

Полученные компетенции позволяют будущим инженерам:

- Сократить сроки разработки РПУ за счёт виртуальных испытаний.
- Минимизировать затраты на натурные эксперименты.
- Повысить точность проектирования сложных радиосистем (5G, IoT, спутниковая связь).

Методические указания формируют у студентов комплексное понимание современных технологий проектирования РПУ, обеспечивая подготовку инженеров, способных решать актуальные задачи в области радиосвязи, радиолокации и телекоммуникаций.

6 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Петров, Ю. В. Проектирование радиоэлектронных устройств на системном уровне (ESL-проектирование) в среде SystemVue : учебное пособие / Ю. В. Петров, О. Ю. Кузьмичёв, С. А. Юхно. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. — 116 с.
- 2 Богаченков, А. Н. Компьютерное проектирование и моделирование радиоэлектронных средств: методические указания / А. Н. Богаченков. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 53 с.
- 3 Дятлов, П. А. Анализ и моделирование обнаружителей связных сигналов в среде SystemVue: учебное пособие / П. А. Дятлов. — Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2021. — 165 с.
- 4 Златин И. Systemview 6.0 (SystemVue). Системное проектирование радиоэлектронных устройств/ И. Златин. — Москва : Горячая Линия - Телеком, 2006. — 424 с.
- 5 Образовательный стандарт ТУСУР 01-2021. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления от 2021 // <https://regulations.tusur.ru/documents/70>. – 2021 (дата обращения: 23.04.2023).

Приложение А

Пример оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра радиотехнических систем (РТС)

ТЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Отчёт к лабораторной работе по дисциплине «...»

Выполнил:
студент гр. 12Х-Х

_____ А.А. Иванов

« ____ » _____ 202Y г.

Руководитель:
ассистент каф. РТС

_____ А.В. Очиртаров

« ____ » _____ 202Y г.

202Y