

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное бюджетное государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования

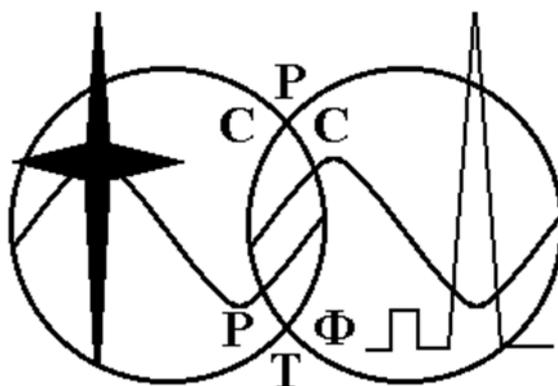
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра средств радиосвязи**

**ПУШКАРЕВ В.П.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОННОГО СЕЛЕКТИВНОГО  
УСИЛИТЕЛЯ РАДИОЧАСТОТЫ**

Учебно-методическое пособие по лабораторной работе в  
компьютерной среде QUCS по дисциплине «Устройства  
приема и обработки сигналов», «Радиоприемные устрой-  
ства», «Устройства приема и преобразования сигналов»  
для студентов радиотехнических специальностей



Томск – 2012

Пушкарев В.П.

Исследование диапазонного селективного усилителя: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов радиотехнических специальностей. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2012. – 24 с.

Учебно-методическое пособие содержит краткие сведения из теории расчета технических характеристик и приведены варианты схемотехнических решений отдельных узлов радиоприемного устройства, изложены методика проведения и рекомендации по их исследованию.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов специальностей направления «Радиотехника», «Телекоммуникации» и для студентов других специальностей, изучающих основы построения радиоприемных устройств, обучающихся на всех формах обучения.

© Пушкарев В.П., 2012

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное бюджетное государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования

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

**Кафедра средств радиосвязи**

УТВЕРЖДАЮ

зав. каф. СРС

\_\_\_\_\_ Мелихов С.В.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОННОГО СЕЛЕКТИВНОГО  
УСИЛИТЕЛЯ РАДИОЧАСТОТЫ**

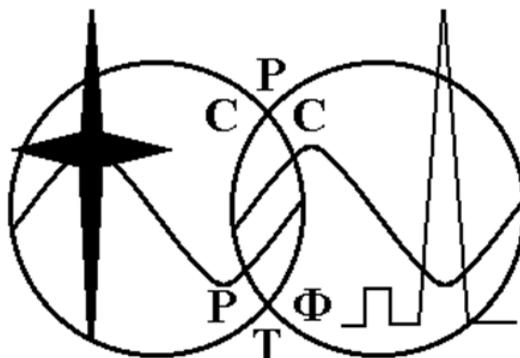
Учебно-методическое пособие по лабораторной работе в  
компьютерной среде QUCS по дисциплине «Устройства  
приема и обработки сигналов», «Радиоприемные устройст-  
ва», «Устройства приема и преобразования сигналов» для  
студентов радиотехнических специальностей

Разработчик

Доцент каф. СРС

\_\_\_\_\_ В.П. Пушкарёв

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.



## АННОТАЦИЯ

Целью учебно-методического пособия по лабораторным работам по дисциплинам направления подготовки «Радиотехника» и «Телекоммуникации» является укрепление теоретических знаний и получение практических навыков исследования основных узлов и элементов радиоприемного устройства, а также привитие навыков в оформлении практических результатов экспериментального исследования.

Учебно-методические указания содержат лабораторные работы, в которых исследуются такие основные узлы радиоприемного устройства как: избирательные цепи с электронной перестройкой, входные цепи при различных связях с ненастроенной антенной; усилитель радиочастоты, содержащий колебательный контур с двойной автотрансформаторной связью; преобразователь частоты; линейный детектор амплитудно-модулированных сигналов и импульсный и пиковый детектор.

## СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	6
1. ВВЕДЕНИЕ .....	8
2. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ QUCS. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА .....	9
2.1. Назначение программного обеспечения область использования .....	9
2.2. Описание программного продукта Qucs.....	9
2.2.1. Описание работы программы Qucs при аналоговом моделировании ...	9
2.2.2. Работа с подсхемами.....	11
2.2.3. Основные правила работы со схемами с варьируемыми параметрами или элементами .....	13
2.2.4. Вывод результатов измерения технических параметров.....	14
2.3. Правила и порядок выполнения лабораторной работы .....	14
2.4. Основные требования оформления отчета .....	15
2.4.1. Правила оформления пояснительной записки по отчету .....	15
2.4.2. Правила оформления результатов исследований .....	15
2.4.3. Требования к написанию выводов .....	15
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОННОГО СЕЛЕКТИВНОГО УСИЛИТЕЛЯ РАДИОЧАСТОТЫ .....	17
3.1. Цель работы .....	17
3.2. Описание схемы селективного усилителя радиочастоты .....	17
3.3. Краткие сведения из теории селективных усилителей радиочастоты .....	18
3.4. Расчетное задание .....	20
3.5. Экспериментальное задание .....	21
3.6. Указания по проведению экспериментального исследования .....	21
3.7. Рекомендации по оформлению экспериментальных результатов и выводов исследования .....	22
3.8. Вопросы для самостоятельной подготовки .....	22
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	24

## ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АД	- амплитудный детектор
АМ	- амплитудная модуляция
АПЧ	- автоматическая подстройка частоты
АРУ	- автоматическая регулировка усиления
АЦ	- антенная цепь
АЧХ	- амплитудно-частотная характеристика
АЭ	- активный элемент
ВАХ	- вольтамперная характеристика
ВЦ	- входная цепь
Г	- гетеродин
ДВ	- диапазон длинных волн
ДД	- динамический диапазон
ИД	- импульсный детектор
КВ	- диапазон коротких волн
ПД	- пиковый детектор
УВЧ	- усилитель высокой частоты
УКВ	- ультракоротковолновый диапазон
УМ	- угловая модуляция
УПЧ	- усилитель промежуточной частоты
УРЧ	- усилитель радиочастоты
ФМ	- фазовая модуляция
ЧМ	- частотная модуляция
ЧД	- частотный детектор
$d_k$	- конструктивное затухание
$d_э$	- эквивалентное затухание
$L_k$	- индуктивность контура
$\Delta f$	- абсолютная расстройка
$f$	- текущая частота
$f_0$	- резонансная частота
$C_k$	- емкость контура
$r_k$	- сопротивление потерь в контуре
$Q_k$	- конструктивная добротность контура
$Q_э$	- эквивалентная добротность контура
$\rho_k$	- волновое сопротивление контура
$g_э$	- эквивалентная проводимость
$m$	- коэффициент включения в контур

- $n$  - коэффициент трансформации
- $\rho$  - волновое сопротивление контура
- $\xi$  - обобщенная расстройка контура

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Дисциплины «Радиоприёмные устройства», «Устройства приёма и обработки сигналов», «Приём и обработка сигналов», «Приём и преобразование сигналов» являются одной из основных специальных дисциплин в инженерной подготовке по направлению специальностей «Радиотехника» и «Телекоммуникации» и других направлений. Целью изучения дисциплины является подготовка студентов к разработке современных радиоприемных устройств обработки радиосигналов. Основными задачами изучения дисциплины является освоение основ построения радиоприемных устройств, освоение методик проектирования по заданным показателям качества. В результате изучения дисциплины студент должен знать основы построения структурных схем устройств приёма и обработки сигналов и освоить основные принципы и методы расчета, проектирования и конструирования. Студент должен уметь применять современные методы проектирования и анализа качественных показателей качества радиоприемных устройств. Изучение дисциплины базируется на основе физико-математической подготовки и знания дисциплин: основы теории электрических цепей, электродинамика и распространение радиоволн, радиотехнические цепи и сигналы, схемотехника аналоговых электронных устройств, радиоавтоматика и т.д.

При изучении дисциплины «Радиоприёмные устройства» должен выполнить лабораторные работы по исследованию отдельных узлов радиоприёмного устройства, так приёмника в целом. Выполненные лабораторные работы позволят понять основные принципы работы радиоприёмных устройств, облегчить работу на курсовом проекте, определяемой учебным планом по радиотехническим специальностям. На этапе курсового проектирования проводится выбор, обоснование и расчет структурной и электрической принципиальных схем радиоприёмного устройства. Расчетами результирующих технических характеристик подтверждаются правильность выбора структурной схемы и наиболее важных частей принципиальной схемы.

## 2. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ QUCS. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

### 2.1. Назначение программного обеспечения область использования

Qucs (произносится: kju:ks) - симулятор цепей с графическим пользовательским интерфейсом. Программный продукт Qucs предназначен для моделирования и анализ характеристик, происходящий в аналоговых и цифровых устройствах. Он способен выполнять различные виды моделирования (например, на постоянном токе, S-параметров и т.д.). При моделировании сложных схем программа позволяет использовать работу с подсхемами.

### 2.2. Описание программного продукта Qucs

#### 2.2.1. Описание работы программы Qucs при аналоговом моделировании

При первом запуске Qucs создает папку «.qucs» в Вашей, заранее открытой папке. Каждый файл сохраняется в этой папке или в одной из ее подпапок. После загрузки Qucs показывается главное окно (Рис. 2. 1).

На поле главного окна программного обеспечения Qucs, с левой стороны, находится область (1), содержание которой зависит от состояния вкладок, расположенных над ней: «Компоненты» (2), «Содержание» (3) и «Проекты» (4). С правой стороны расположена рабочая область (6), в которой содержатся схемы, документы показанных данных и т.д. С помощью вкладок (5) над этой областью можно быстро переключиться на любой документ, открытый в данный момент. После запуска Qucs активируется вкладка «Проекты» (4). Так как Вы запустили программу в первый раз, эта область пустая, поскольку у Вас еще нет ни одного проекта. Нажмите кнопку «Создать» прямо над областью (1) и откроется диалоговое окно. Введите имя для Вашего первого проекта, например, «Входные цепи» и нажмите кнопку «Создать». Qucs создает папку проекта в папке ~/.qucs, для этого примера. Каждый файл, принадлежащий этому новому проекту, будет сохранен в этой папке. Новый проект немедленно открывается (это можно прочитать в заголовке окна) и вкладки переключаются на «Содержание» (3), где показывается содержание открытого в данный момент проекта. У Вас еще нет ни одного документа, поэтому нажмите кноп-

ку сохранения на панели инструментов (или используйте главное меню: Файл ->Сохранить) чтобы сохранить документ без названия, который заполняет рабочую область (6). После этого появится диалоговое окно для ввода имени нового документа. Введите «firstSchematic» и нажмите кнопку «Сохранить».

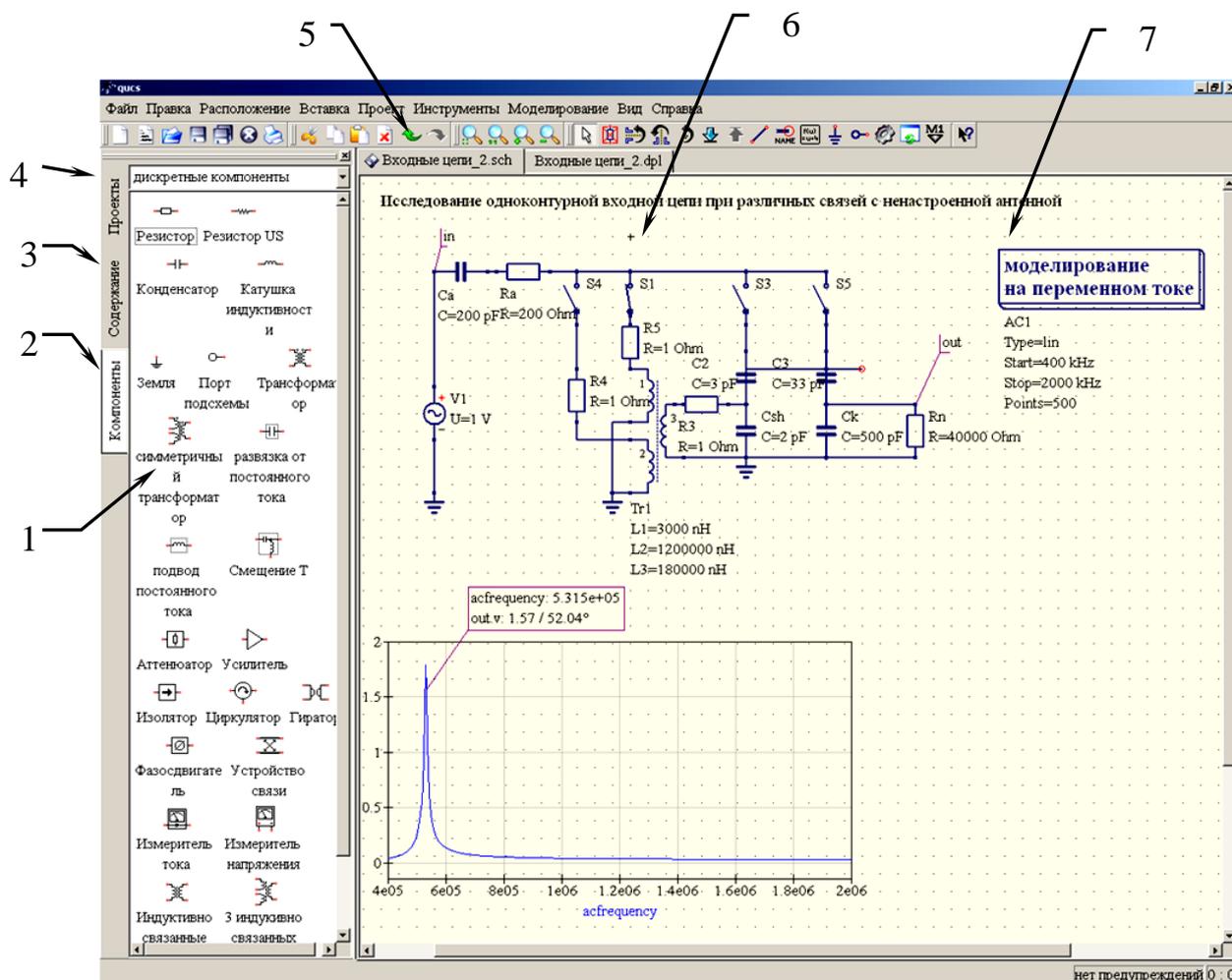


Рис. 2. 1. Главное окно Qucs

Для моделирования процессов в схемах на переменном или постоянном токах, необходимо во вкладке «Компоненты» (2) «дискретные компоненты» и перенеся курсором мыши необходимые элементы составить исследуемую схему (Рис. 2. 1). Источник тока или напряжения находится в классе компонентов «источники», обозначение заземления может быть взято из класса «дискретные компоненты» или с панели инструментов, требуемое моделирование определяется с помощью больших блоков моделирования, находящихся в классе компонентов «виды моделирования». Для изменения номиналов элементов схемы достаточно сделать двойное нажатие левой кнопки

мыши и в открывшемся диалоговом окне, в поле редактирования изменить его величину, затем нажать Enter. Чтобы соединить компоненты, нажмите кнопку с проводником на панели инструментов или воспользуйтесь главным меню: «Вставка->Проводник». Затем переместите курсор на незанятый вывод, помеченный маленьким красным кружком. Нажатие кнопки мыши на нем начинает проводник. Теперь передвиньте курсор к конечной точке и снова нажмите кнопку мыши. Теперь компоненты соединены. Для изменения направления изгиба проводника, нажмите правую кнопку мыши, прежде чем делать конечную точку. Вы можете также закончить проводник, не нажимая ни на свободный вывод, ни на проводник: просто сделайте двойное нажатие левой кнопки мыши.

Для запуска моделирования нажмите кнопку моделирования на панели инструментов или используйте меню: Моделирование ->Моделировать. Откроется окно и покажет продвижение процесса. После успешного завершения моделирования открывается документ показа данных. Обычно все это происходит так быстро, что Вы увидите лишь быстрое мелькание. Теперь Вам нужно поместить диаграмму, чтобы увидеть результаты моделирования. Слева находится класс компонентов «диаграммы», который выбирается автоматически. Нажмите на "Табличная", перейдите в рабочую область и поместите ее, нажав левую кнопку мыши. Открывается диалоговое окно, где можно выбрать, что следует показать в новой диаграмме. В левой области видно имя узла, которое Вы задали: «Input». Сделайте двойное нажатие кнопки мыши на нем, и оно будет перенесено в правую область. Выйдите из диалога нажатием кнопки «Ок». Теперь виден результат моделирования: 0.666667 вольт.

Измерения значений постоянного тока или напряжения в цепи, исследуемой схемы, осуществляются с помощью амперметра или вольтметра. Выбор измерительного прибора производится в разделе «Компоненты» (2) выбирается из раздела «Измерители» (4) курсором переносится на поле с изображением электрической схемы «Измеритель тока» или «Измеритель напряжения», а затем производится их подключение к заданным участкам цепи (Рис. 2. 1).

### 2.2.2. Работа с подсхемами

Подсхемы используются, чтобы внести большую ясность в схему. Это очень полезно в больших схемах или в схемах, в которых какой-либо блок компонентов появляется несколько раз.

В Qucs каждая схема, содержащая вывод подсхемы, является подсхемой. Вывод подсхемы можно получить с помощью панели инструментов, списка компонентов (в дискретных компонентах) или меню (Вставка->Вставить вывод). После того, как вставлены все выводы подсхемы (например, два), нужно сохранить подсхему (например, нажав CTRL-S). Если посмотреть в просмотр содержимого проекта (рис. 1), можно увидеть, что теперь справа от имени схемы стоит «2-портовый» (столбец «Примечание»). Эта пометка есть у всех документов, которые являются подсхемами. Теперь перейдите в схему, где Вы хотите использовать эту подсхему. Затем нажмите на имя подсхемы (в просмотре содержимого). Снова войдя в область документов, Вы видите, что теперь можно поместить подсхему в главную схему. Сделайте так и закончите схему. Теперь можно выполнить моделирование. Результат будет такой же, как если бы все компоненты подсхемы были помещены непосредственно на схему.

Если выбрать компонент-подсхему (нажав на ее обозначение в схеме), то можно войти в подсхему, нажав CTRL-I (эта функция доступна через панель инструментов и через меню). Можно вернуться, нажав CTRL-H.

Если Вас не устраивает обозначение компонент подсхемы, то Вы можете нарисовать свое собственное и поместить текст компоненты туда, где Вам будет удобно. Просто сделайте схему подсхемы текущим документом и перейдите к меню: Файл->Изменить обозначение схемы. Если Вы уже не нарисовали обозначение для этой схемы, то автоматически будет создано простое обозначение. Это обозначение можно редактировать, рисуя линии и дуги. После завершения, сохраните его. Теперь поместите его на другую схему, и вот у Вас новое обозначение.

Как и у всех других компонентов, у подсхем могут быть параметры. Для создания своих собственных параметров, вернитесь в редактор, где вы редактировали обозначение подсхемы, и дважды нажмите левую кнопку на тексте параметра подсхемы. Появится диалоговое окно, в котором Вы можете заполнить параметры начальными значениями и описаниями. Когда Вы это закончите, закройте диалоговое окно и сохраните подсхему. При использовании подсхемы, возможно редактирование так же, как и в других компонентах.

### 2.2.3. Основные правила работы со схемами с варьируемыми параметрами или элементами

При проведении экспериментального исследования возникает необходимость изменения параметров элементов схемы с изменяемыми величинами по заранее разработанному алгоритму или в заданных пределах. Для установки пределов изменения параметров элемента с варьируемыми параметрами необходимо ввести в область, с исследуемой схемой, вкладку «Развертка параметра» из раздела «Компоненты» установленного в режиме «Виды моделирования» (Рис. 2. 2).

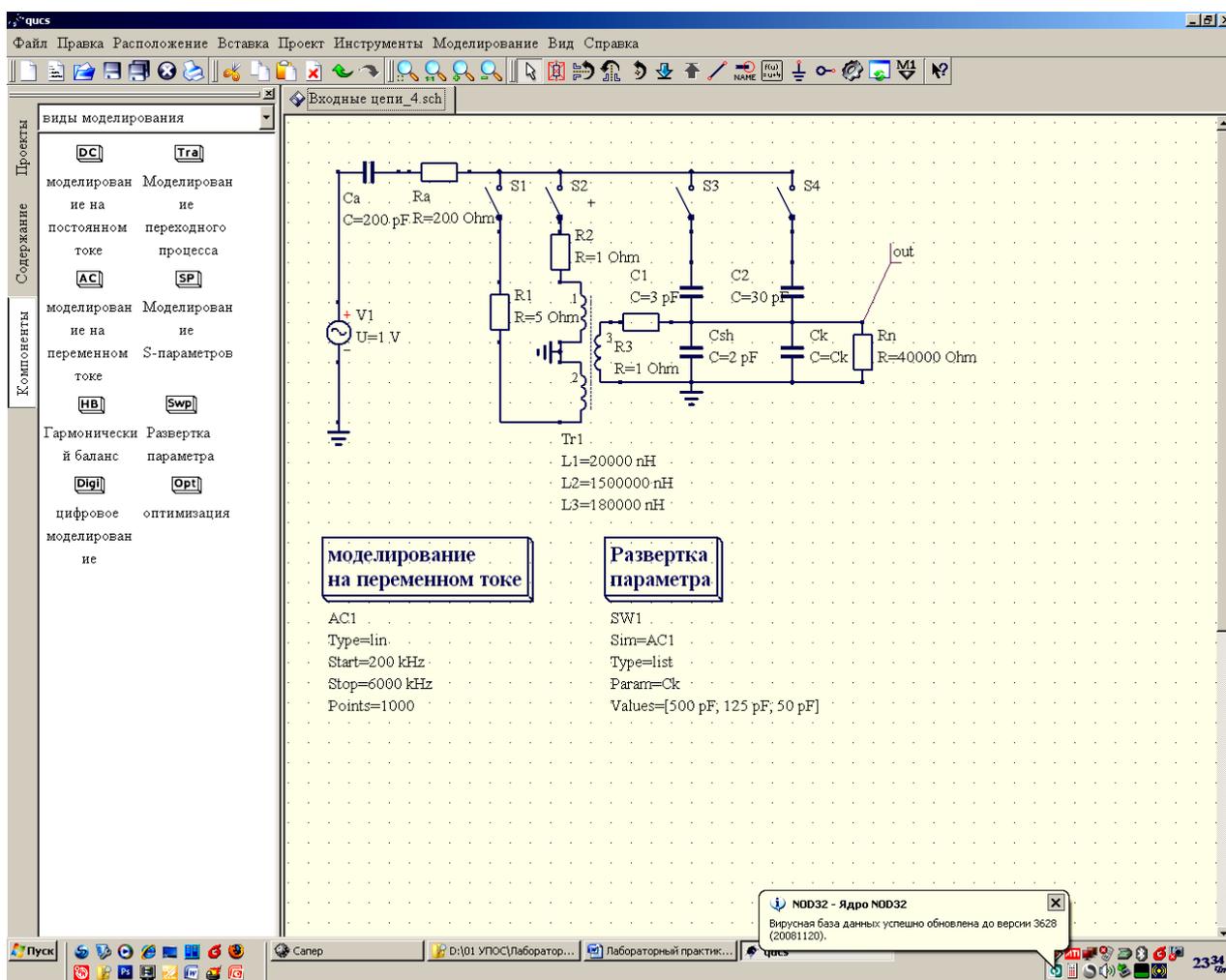


Рис. 2. 2. Главное окно Qucs Исследуемая схема с элементами индикации исследуемых процессов

Для осуществления процесса моделирования из раздела «компоненты» выбирается опция «моделирование на переменном токе» или «моделирование на постоянном токе» и курсором мыши переносится на поле со схемой исследуемого объекта как изображенного на ри-

сунке. Для удобства изменения элемента с варьируемыми параметрами используется опция «Развёртка параметра», также взятая из раздела «компоненты» - «моделирование». В информационном окне развёртки параметра вводится минимальное, среднее и максимальное значение номинала изменяемого элемента исследуемой схемы, в данном случае емкости контура. Среднее значение изменяемого номинала элемента схемы (емкости контура) должно соответствовать среднему значению аргументу исследуемой зависимости (средней частоте диапазона перестройки контура входной цепи).

После входа в режим «Развёртка параметра» производятся установка элемента, в котором будут изменяться параметры, и устанавливаются значения номиналов элемента. Для этого нажмите на панели инструментов кнопку для метки проводника или воспользуйтесь меню: «Вставка->Метка» проводника. Далее, нажмите кнопку мыши на выбранном проводнике. Откроется диалоговое окно и можно ввести имя узла. Напишите «Input», «out» или другую надпись в соответствии с его назначением, а затем нажмите кнопку «Ok».

#### **2.2.4. Вывод результатов измерения технических параметров**

Вывод результатов расчета характеристик исследуемой схемы производится после проведения процедуры моделирования нажатием на клавишу  $F2$  и выводятся в виде файла с расширением \*.dpl. Для представления результатов в графическом или табличном видах, необходимо выбрать вид представления результатов из раздела «Компоненты» и «Диаграммы» выбрать нужное представление результатов и вывести на свободное поле и установить наименование параметров, и при необходимости определить границы их изменения.

### **2.3. Правила и порядок выполнения лабораторной работы**

Для успешного выполнения лабораторной работы необходима тщательная ее подготовка, предварительно изучив цель работы, основные сведения из теории и принцип работы исследуемой электрической принципиальной схемы. В рабочей тетради должны быть подготовлены необходимые исходные данные и таблицы для занесения результатов экспериментальных исследований. Вариант номиналов элементов исследуемой электрической принципиальной схемы, выдаются преподавателем на первом занятии.

Перед началом первой лабораторной работы необходимо на рабочем столе в каталоге «Лабораторный практикум по УПОС» сформировать рабочую папку (подкаталог), где будут сохраняться все ре-

зультаты лабораторных работ. Для упрощения поиска информации по лабораторным работам, при формировании имени папки, рекомендуется использовать номер группы и имя студента.

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать порядок на рабочем месте.

## **2.4. Основные требования оформления отчета**

### **2.4.1. Правила оформления пояснительной записки по отчету**

Пояснительная записка оформляется в виде отчета по каждой лабораторной работе отдельно. Отчет оформляется один на подгруппу на бумажном носителе и должен содержать наименование темы лабораторной работы, цель и задачу исследования, приводится исследуемая электрическая принципиальная схема, краткое ее описание, а при необходимости и эквивалентную исследуемую схему. В основной части отчета по лабораторной работе излагаются результаты теоретического расчета и результаты экспериментальных исследований. В завершении исследований представляются выводы по каждому пункту исследования. В выводах необходимо представить количественную и качественную оценку исследуемых зависимостей или/и схем с обязательным пояснением причин изменения поведения и характера зависимостей или исследуемого параметра.

### **2.4.2. Правила оформления результатов исследований**

Все результаты теоретического расчета и экспериментального исследования рекомендуются приводить в виде таблиц и/или графиков (рисунков). Предпочтительно, чтобы результаты исследований представлялись в виде графиков. Графические зависимости, по возможности приводятся на одном рисунке. Такое представление дает возможность провести сравнительный анализ зависимостей при различных вариантах схемотехнической реализации или при различных входных параметрах исследуемого объекта.

### **2.4.3. Требования к написанию выводов**

Заключительная часть выполненной лабораторной работы завершается написанием выводов по каждому исследуемому пункту задания на экспериментальное исследование. Формирование каждого вывода производится в два этапа: констатирующего и пояснения закономерностей и причин их изменения. На констатирующем этапе

необходимо представить качественную и количественную оценку исследуемой зависимости и описать характер изменения ее поведения. При формировании анализа причин поведения теоретических и экспериментальных зависимостей следует произвести сравнение результатов расчетной и экспериментальной зависимостями, а также пояснить причину их расхождения. В завершение своих выводов необходимо представить общие закономерности поведения измеряемых зависимостей и их связи с параметрами исследуемой схемы.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОННОГО СЕЛЕКТИВНОГО УСИЛИТЕЛЯ РАДИОЧАСТОТЫ

#### 3.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является:

- исследование зависимости резонансного коэффициента передачи селективного усилителя радиочастоты  $K_0 = Y(f_0)$  для режимов слабого и сильного шунтирования колебательного контура УРЧ;
- исследование зависимости полосы пропускания  $\Pi_{\text{ВЦ}} = \varphi(f_0)$  для режимов слабого и сильного шунтирования колебательного контура УРЧ.
- исследование влияния сопротивления нагрузки УРЧ на характер изменения частотной зависимости  $K_0$ .

#### 3.2. Описание схемы селективного усилителя радиочастоты

Принципиальная схема диапазонного УРЧ на транзисторе Т1, нагруженного на одиночный колебательный контур приведена на рисунке (Рис. 3. 1).

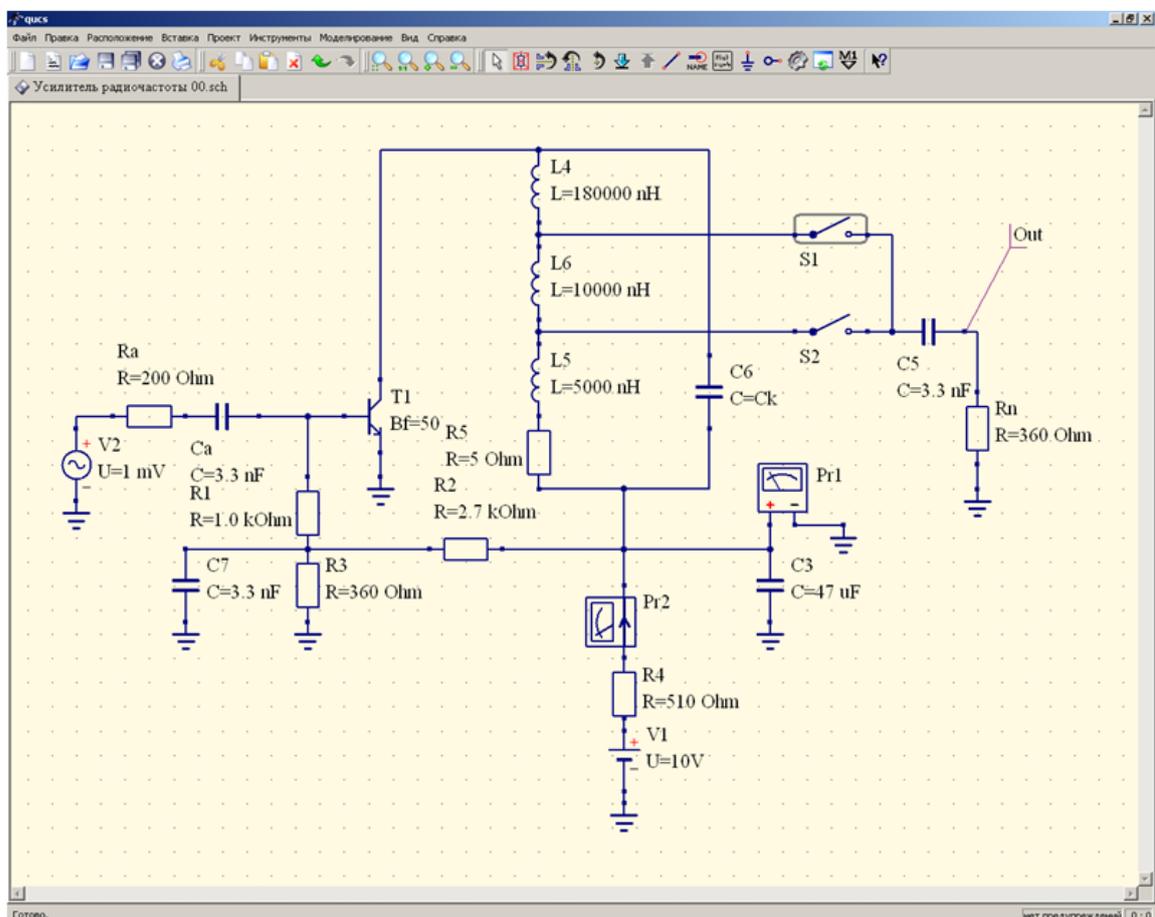


Рис. 3. 1. Принципиальная схема диапазонного УРЧ

Переключение параметров связи нагрузки с контуром УРЧ выполняются переключателями S1 и S2.

### 3.3. Краткие сведения из теории селективных усилителей радиочастоты

Обобщенная эквивалентная схема селективного усилителя радиочастоты с одиночным колебательным контуром (Рис. 3. 1) без учета влияния обратной связи представлена на рисунке (Рис. 3. 2).

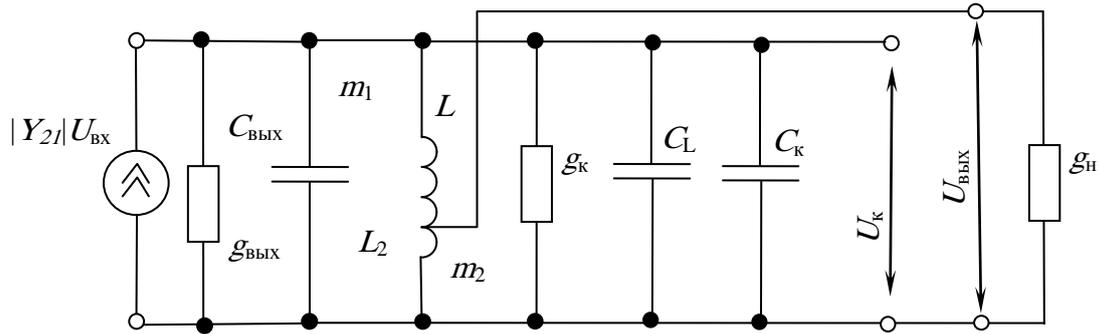


Рис. 3. 2. Эквивалентная схема диапазонного УРЧ

где  $m_1 = 1$  – коэффициент включения в контур усилительного каскада;

$m_2 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{к}}}$  – коэффициент включения в контур входа следующего каскада;

$C_{\text{ВЫХ}} \approx C_{22}$  – выходная емкость усилительного каскада;

$C_{\text{к}}$ ,  $C_{\text{L}}$  – емкость конденсатора контура и собственная емкость катушки  $L$ ;

$g_{\text{ВЫХ}} \approx g_{22}$ ,  $g_{\text{н}} \approx g_{11}$  – выходная проводимость усилительного каскада и входная проводимость следующего каскада

$g_{\text{к}}$  – резонансная проводимость контура УРЧ;

$|Y_{21}|$  – модуль крутизны усилительного элемента УРЧ;

$U_{\text{ВХ}}$  – напряжение на входе усилительного каскада.

Модуль коэффициента передачи селективного усилителя определяется выражением

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{|Y_{21}| \cdot m_1 \cdot m_2}{g_{\text{к}} \sqrt{1 + \xi^2}},$$

где  $g_{\text{Э}} = m_1^2 \cdot g_{22} + g_K + m_1^2 \cdot g_{11}$  - эквивалентная резонансная проводимость контура;

$$\xi = Q_{\text{Э}} \cdot \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) - \text{обобщенная расстройка контура УРЧ};$$

$$Q_{\text{Э}} = \frac{1}{d_{\text{Э}}},$$

$d_{\text{Э}} = d_K \cdot \left( 1 + m_1^2 \cdot \frac{g_{22}}{g_K} + m_2^2 \cdot \frac{g_{11}}{g_K} \right)$  - эквивалентное затухание контура УРЧ;

$d_K$  - конструктивное (собственное) затухание контура УРЧ.

Модуль резонансного коэффициента передачи селективного УРЧ с перестройкой частоты изменением емкости

$$K_0 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(f_0)}{U_{\text{ВХ}}(f_0)} = \frac{|Y_{21}| \cdot m_1 \cdot m_2}{g_{\text{Э}}} = \frac{|Y_{21}| \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot 2\pi \cdot f_0 L}{d_{\text{Э}}}.$$

Уравнение нормированной амплитудно-частотной характеристики селективного усилителя с одиночным колебательным контуром определяется выражением

$$Y(f_0) = \frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}}.$$

Оптимальный коэффициент включения  $m_{2\text{опт}}$  (при фиксированном коэффициенте включения  $m_1$ ), обеспечивающий режим согласования нагрузки  $g_H$  с контуром УРЧ

$$m_{2\text{опт}} = \sqrt{\frac{g_K + m_1^2 \cdot g_{11}}{g_H}}.$$

Коэффициент включения нагрузки в колебательный контур определяется выражением (Рис. 3. 2)

$$m_2 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_K} = \frac{\varpi_2}{\varpi_K} = \sqrt{\frac{L_{\text{кГН}}}{L_2 \text{кГН}}},$$

где  $\varpi_2, \varpi_K$  - число витков отвода катушки на нагрузку и контурной катушки, соответственно.

Избирательность УРЧ определяется выражением

$$\sigma = \frac{1}{Y(f_0)} = \sqrt{1 + \xi^2} \text{ [раз]} \text{ или } \sigma = 20 \cdot \lg \sqrt{1 + \xi^2} \text{ [дБ]}.$$

Величина обобщенной расстройки относительно канала прямого прохождения, при использовании УРЧ в приемнике супергетеродинного типа, определяется соотношением

$$\xi = Q_{\Omega} \cdot \left( \frac{f_{\text{пр}}}{f_0} - \frac{f_0}{f_{\text{пр}}} \right).$$

Величина обобщенной расстройки УРЧ, относительно зеркального канала, определяется соотношением

$$\xi = Q_{\Omega} \cdot \left( \frac{f_0 + 2 f_{\text{пр}}}{f_0} - \frac{f_0}{f_0 + 2 f_{\text{пр}}} \right),$$

где  $f_{\text{пр}} = 465$  кГц – промежуточная частота.

### 3.4. Расчетное задание

3.4.1. Произвести расчет коэффициентов включения сопротивления нагрузки УРЧ в контур при заданных величинах емкости и индуктивности контурной катушки  $L = L4 + L5 + L6$ , а также и перестраиваемой емкости (таблица 3.1). Значения катушек связи принять  $L5 = 5$  мкГн,  $L6 = 10$  мкГн, затухание контура  $d_K = 0.01$ .

Таблица 3.1. Значения элементов контура УРЧ

№ п/п	Варьируемые элементы контура УРЧ		
	$C_{\text{min}}$ , пФ	$C_{\text{max}}$ , пФ	$L$ , мкГн
1.	60	750	160
2.	55	700	165
3.	50	650	170
4.	45	600	175
5.	40	550	180
6.	35	500	185
7.	30	450	190
8.	25	400	195
9.	25	350	200
10.	20	300	205

3.4.2. Рассчитать частотные зависимости резонансного коэффициента передачи и полосу пропускания для УРЧ в диапазоне рабочих

частот для режимов слабого и сильного шунтирования. Модуль крутизны усилительного элемента  $|Y_{21}| = 150 \text{ мА/В}$ .

3.4.3. Рассчитать неравномерность резонансного коэффициента передачи эквивалентную добротность колебательного контура УРЧ.

3.4.4. Рассчитать избирательность селективного УРЧ по прямому и зеркальному каналам для приемника супергетеродинного типа на краях диапазона рабочих частот. Промежуточная частота равна 465 кГц. Дать анализ полученных результатов.

### 3.5. Экспериментальное задание

3.5.1. Произвести сборку и подготовку принципиальной схемы в соответствии с рис. 3.2. Номиналы элементов колебательного контура взять из данных таблицы 3.1.

3.5.2. Снять и построить частотную зависимость  $K_0 = Y(f_0)$  для двух значений автотрансформаторной связи контура УРЧ с нагрузкой. Определить коэффициент перекрытия по частоте.

3.5.3. Снять и построить частотную зависимость  $\Pi_{\text{вц}} = \varphi(f_0)$  для двух значений автотрансформаторной связи контура УРЧ с нагрузкой.

3.5.4. Измерить и определить характер изменения избирательных свойств по прямому и зеркальному каналам при слабой и сильной автотрансформаторной связях контура УРЧ с нагрузкой на нижних и верхних частотах диапазона для случая супергетеродинного приема. Промежуточная частота равна 465 кГц. Настройка гетеродина в приемнике – верхняя.

### 3.6. Указания по проведению экспериментального исследования

3.6.1. Произвести подготовку принципиальной схемы в соответствии с рис. 3.1 и таблицей 3.1, в соответствии с указаниями преподавателя и определить величину изменения конденсатора при заданных значениях индуктивности колебательного контура УРЧ.

3.6.2. Оценка избирательных свойств УРЧ по прямому и зеркальному каналам произвести из условия минимума обобщенной расстройки.

### 3.7. Рекомендации по оформлению экспериментальных результатов и выводов исследования

3.7.1. Результаты расчета и экспериментального исследования рекомендуется сводить в таблицу

Переключатель S1 замкнут, S2 – разомкнут (сильное шунтирование)			
Частота	$f_{\text{мин}}$	$f_{\text{ср}}$	$f_{\text{макс}}$
Частота сигнала, кГц			
$E_A$ , мВ			
$U_{\text{ВЫХ}}$ , мВ			
$K_0$			
$P_{\text{ВЦ}}$ , кГц			
$K_{\text{пф}}$			
Переключатель S1 – разомкнут, S2 – замкнут (слабое шунтирование)			
Частота сигнала, кГц			
$E_A$ , мВ			
$U_{\text{ВЫХ}}$ , мВ			
$K_0$			
$P_{\text{ВЦ}}$ , кГц			
$K_{\text{пф}}$			

3.7.2. Графические зависимости  $K_0 = Y(f_0)$  для всех видов связи с нагрузкой необходимо представить на одном графике. На этом же графике представить и результаты теоретического расчета частотной зависимости.

### 3.8. Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Каково назначение усилителя радиочастоты?
2. Каковы особенности работы УРЧ в приемнике супергетеродинного типа?
3. Определить назначение элементов электрической принципиальной схемы УРЧ.
4. Каков путь протекания постоянной и переменной составляющей коллекторного, базового и эмиттерного токов транзистора УРЧ?
5. Каково назначение УРЧ цепи в радиоприемных устройствах?
6. Показать и объяснить характер изменения резонансного коэффициента передачи УРЧ с перестраиваемым одиночным контуром.
7. Объяснить характер изменения избирательных свойств по прямому каналу диапазонного селективного УРЧ.
8. Объяснить характер изменения избирательных свойств по зеркальному каналу диапазонного селективного УРЧ.

9. Объяснить характер измерения частотной зависимости резонансного коэффициента для слабого шунтирования контура УРЧ.

10. Объяснить характер измерения частотной зависимости резонансного коэффициента для сильного шунтирования контура УРЧ.

11. Как влияет изменение коэффициента включения в контур на селективные характеристики УРЧ?

12. Как зависит полоса пропускания УРЧ от коэффициента включения сопротивления нагрузки в колебательный контур?

13. Как влияет режим работы усилительного элемента на коэффициент передачи УРЧ?

14. Как влияет режим работы усилительного элемента на полосу пропускания УРЧ?

15. Как осуществляется стабилизация режима работы усилительного элемента в УРЧ?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пушкарев В.П., Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие. – Томск Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2005. – 200 с.

2. Пушкарев В.П., Устройства приема и обработки сигналов: Учебное методическое пособие. – Томск Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2005. – 69 с.

3. Мелихов С.В., Назаренко М.К., Колесов А.Н. Руководство к лабораторным работам по «Устройства приема и обработки сигналов», «Радиоприемные устройства», «Устройства приема и преобразования сигналов», «Прием и обработка сигналов» для студентов радиотехнических специальностей. Часть 1. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2006. – 42 с.

4. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное методическое пособие. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2007. — 174 с.