

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное бюджетное государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования

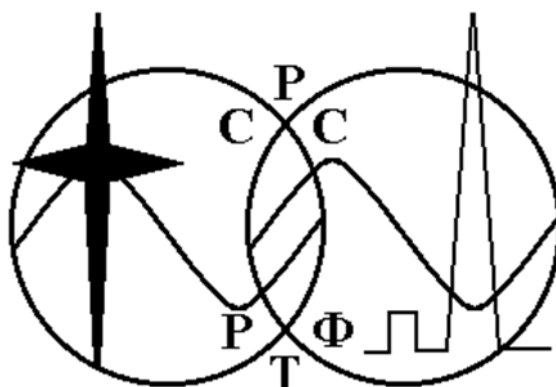
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра средств радиосвязи**

**ПУШКАРЕВ В.П.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА**

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



Томск – 2012

Пушкарев В.П.

Исследование амплитудного детектора: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов радиотехнических специальностей. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2012. – 25 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 АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА

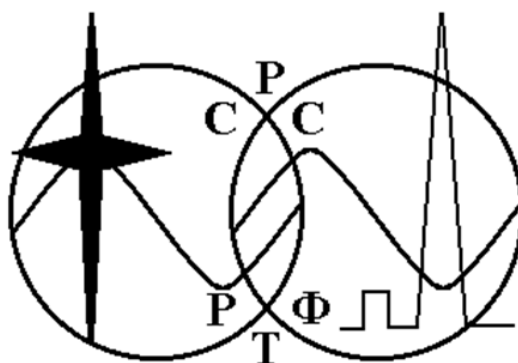
Учебно-методическое пособие по лабораторной работе в  
компьютерной среде QUCS по дисциплине «Устройства  
приема и обработки сигналов», «Радиоприемные устройст-  
ва», «Устройства приема и преобразования сигналов» для  
студентов радиотехнических специальностей

Разработчик

Доцент каф. СРС

\_\_\_\_\_ В.П. Пушкарёв

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.



Томск - 2012

## 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 АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА.....	17
3.1. Цель работы .....	17
3.2. Описание электрической принципиальной схемы .....	17
3.3. Краткие сведения из теории детектирования.....	18
3.4. Расчетное задание .....	21
3.5. Экспериментальное задание .....	22
3.6. Указания по проведению экспериментального исследования .....	23
3.7. Вопросы для самостоятельной подготовки .....	23
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	25

## 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
$t$	- 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 показа 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».

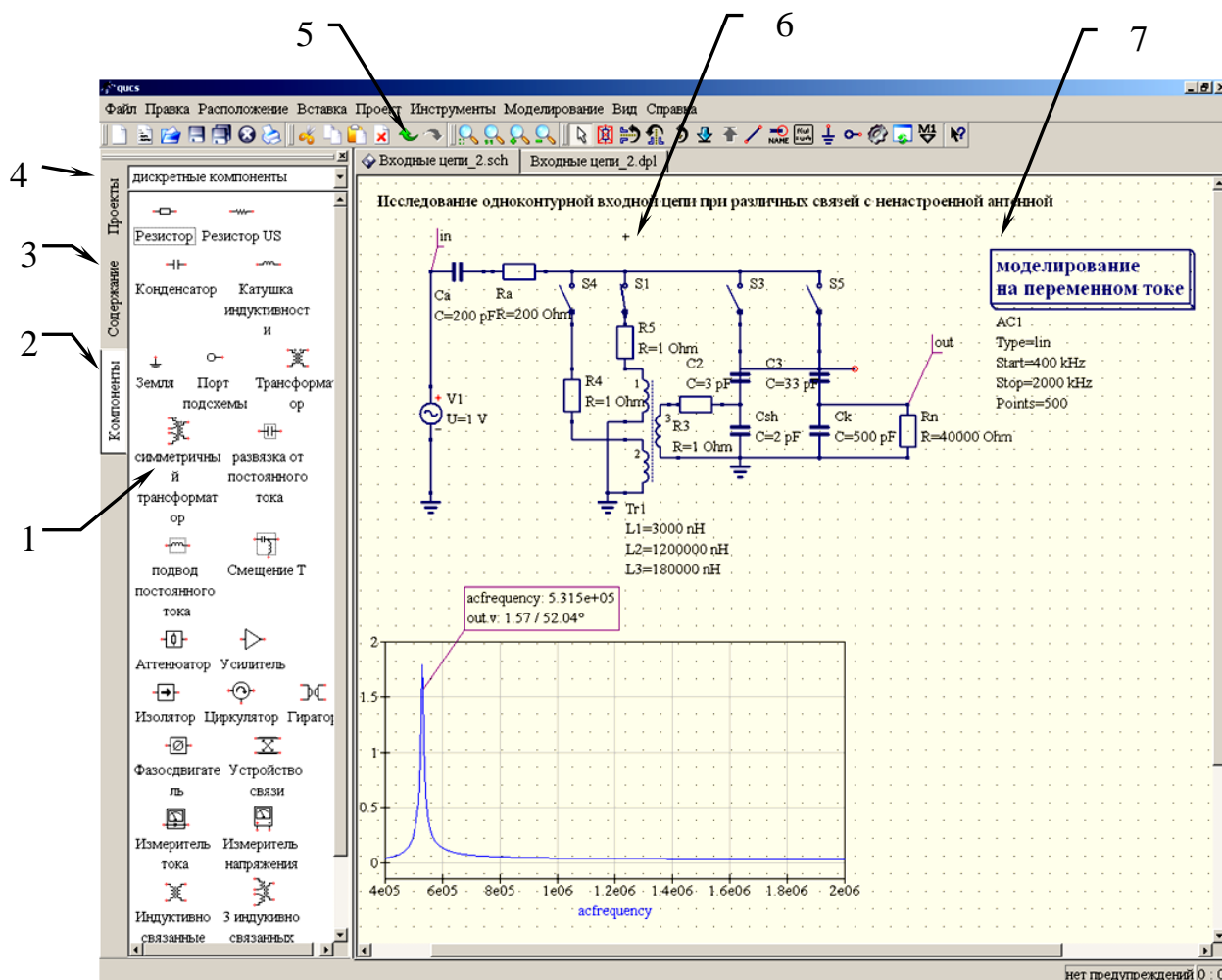


Рис. 2. 1. Главное окно Qucs

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).

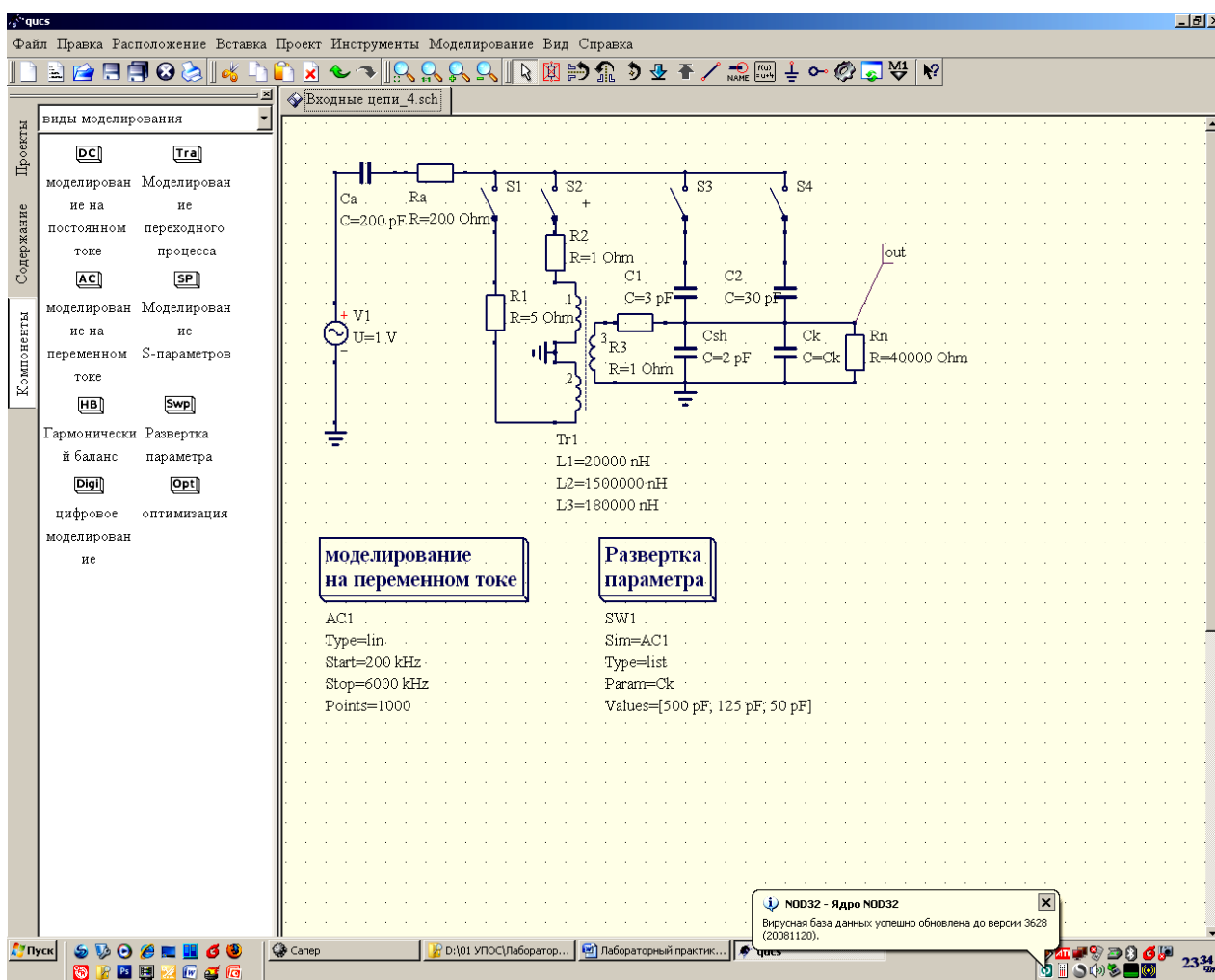


Рис. 2. 2. Главное окно Qucs Исследуемая схема с элементами индикации исследуемых процессов

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 АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА

#### 3.1. Цель работы

Исследование детектора амплитудно-модулированных сигналов в режиме линейного детектирования:

- зависимости коэффициента передачи для непрерывного и амплитудно-модулированного сигналов;
- зависимости коэффициента фильтрации от величины постоянной времени;
- полосы пропускания детектора от параметров нагрузки;
- нелинейных искажений, обусловленные инерционностью нагрузки и различием сопротивления нагрузки детектора по постоянному и переменному токам.

#### 3.2. Описание электрической принципиальной схемы

Принципиальная схема линейного детектора АМ – сигналов последовательного типа изображена на рисунке (Рис. 3. 1).

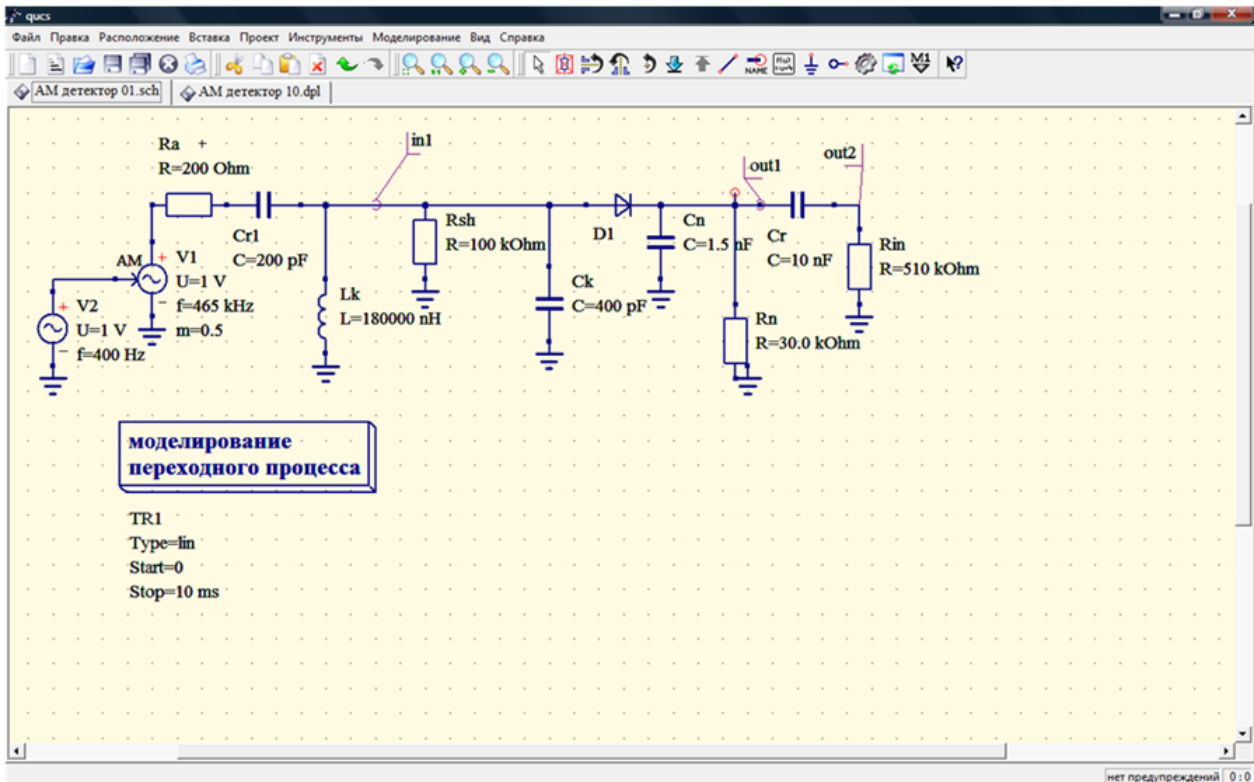


Рис. 3. 1. Принципиальная схема последовательного АМ детектора

Линейный детектор последовательного типа выполнен на диоде  $D1$ , элементы  $Cn$  и  $Rn$  являются нагрузкой детектора. Сопротивление  $Rin$  имитирует входного сопротивления следующего каскада. Емкость  $Cr$  – разделительная емкость между детектором и следующим каскадом. Элементы  $Lk$  и  $Ck$  – образуют колебательный контур с резонансной частотой 465 кГц. Сопротивление шунта колебательного контура  $Rsh$  – определяет его резонансное сопротивление. Узлы in 1, out 1 и out 2 предназначены для иллюстрации процессов во времени на входе и выходе детектора (Рис. 3. 2).

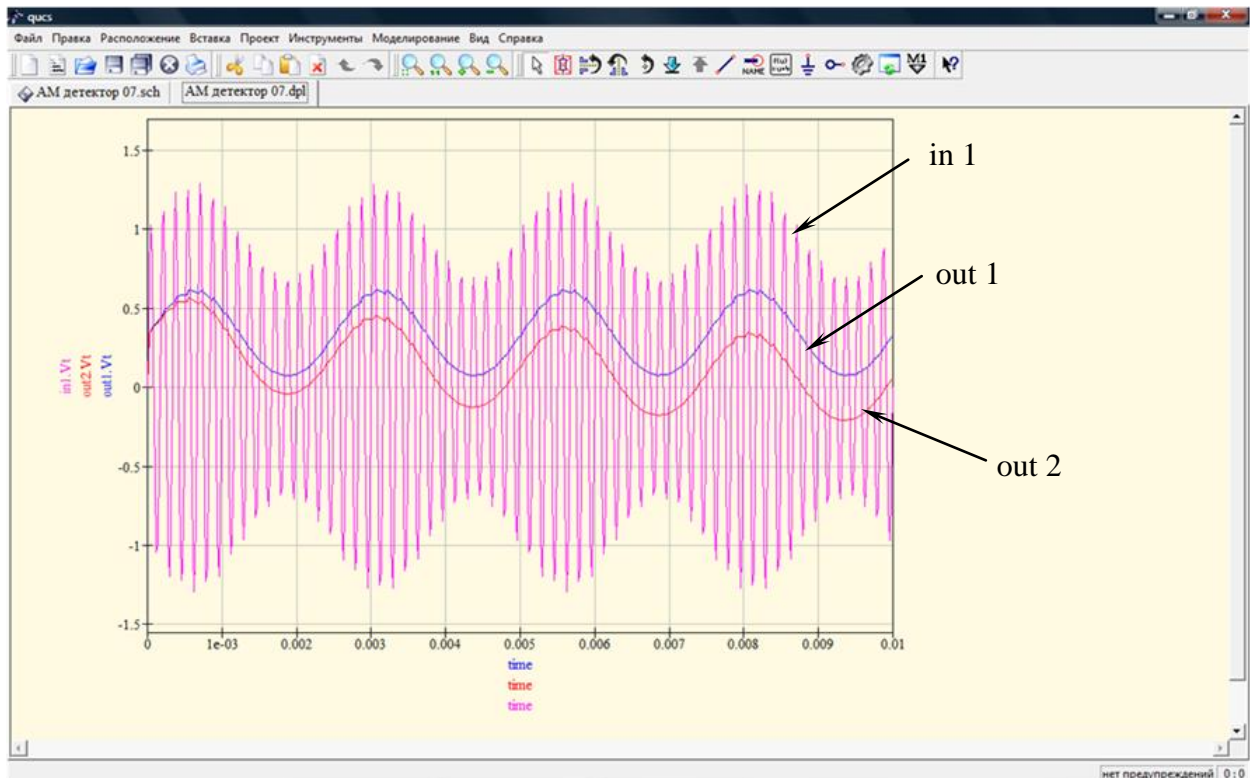


Рис. 3. 2. К иллюстрации временных процессов в линейном АМ – детекторе

Для выполнения экспериментального исследования используются: генератор стандартных сигналов  $V1$ , модулирующих сигналов  $V2$  и осциллограф, подключаемый к узлам in1, out 1 и out 2.

### 3.3. Краткие сведения из теории детектирования

Электрическая принципиальная схема линейного детектора амплитудно-модулированных сигналов последовательного типа представлена на рисунке (Рис. 3. 3).

Коэффициент передачи детектора для немодулированного входного сигнала  $U_{m0} \cos \omega t$

$$K_d = \frac{1}{2} \frac{U_0}{\sqrt{2} \cdot U_{m0}}, \quad (3.1)$$

где  $U_0$  - постоянное напряжение на выходе детектора (нагрузке), обусловленное сигналом с амплитудой  $U_{m0}$ .

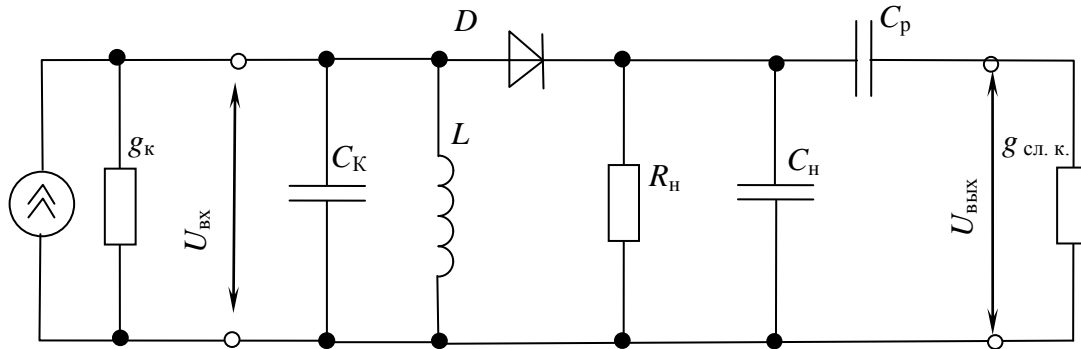


Рис. 3. 3. Принципиальная схема последовательного АМ детектора

Коэффициент фильтрации остаточного высокочастотного напряжения на выходе детектора для немодулированного сигнала  $U_{m0} \cos \omega t$

$$K_{д\Omega} = \frac{U_{\omega ВХ}}{U_{\omega ВВ}}, \quad (3.2)$$

где  $U_{\omega ВВ}$  - постоянное напряжение на выходе детектора (нагрузке), обусловленное сигналом с амплитудой  $U_{m0}$ .

Коэффициент передачи детектора амплитудно-модулированного входного сигнала  $U_{m0} \cos \omega t$

$$K_{д\Omega} = \frac{U_{\Omega}}{m \cdot U_{m0}}, \quad (3.2)$$

где  $U_{\Omega}$  - напряжением на выходе детектора с частотой модуляции на выходе детектора;

$m$  - глубина модуляции несущей частоты.

Коэффициент передачи линейного детектора определяется выражением

$$K_d = K_{д\Omega} = \cos \Theta, \quad (3.3)$$

где  $\Theta$  - угол отсечки высокочастотного тока диоды.

Угол отсечки  $\Theta$  связан с параметрами диода и нагрузки детектора и величиной проводимости следующего каскада

$$\frac{g_d}{g_n + g_{обр}} = \frac{\pi}{tg\Theta - \Theta}, \quad (3.4)$$

где  $g_d$  и  $g_{обр}$  - прямая и обратная проводимость диода;  
 $g_n$  - проводимость нагрузки детектора.

Угол отсечки (при соотношении проводимостей  $\frac{g_d}{g_n} > 50$ ) определяется выражением

$$\Theta = \sqrt{\frac{g_n + g_{обр}}{g_d + g_{обр}}} \cdot 3\pi$$

Комплексная проводимость детектора

$$\dot{Y}_{вх} = g_{вх} + j\omega C_{ак} = \frac{I_{\omega 1}}{U_{m0}}$$

где  $I_{\omega 1}$  - амплитуда первой гармоники входного высокочастотного тока детектора;  
 $C_{ак}$  - емкость диода (катод-анод).

Для детектора последовательного типа (при  $\cos(\Theta) \approx 1$ )

$$g_{вх} = 2 \cdot g_n + 3 \cdot g_{обр}.$$

Качественными показателями детектора являются линейные (частотные и фазовые) и нелинейные искажения (изменение состава спектра или изменение соотношения между отдельными спектральными составляющими спектра).

Линейные искажения обусловлены наличием инерционных цепей в нагрузке детектора. Верхняя граничная частота  $F_B$  (при отсутствии нелинейных искажений) определяется уменьшением коэффициента передачи детектора на 3 дБ, а фазовый набег  $45^0$ . Верхняя граничная частота определяется выражением

$$F_B \approx \frac{g_n + g_d}{2 \cdot \pi \cdot C_n},$$

где  $C_n$  - емкость нагрузки детектора.

Нелинейные искажения за счет нелинейности детекторной характеристики и определяются величиной проводимости нагрузки и уровнем входного сигнала. Чем меньше проводимость и больше уровень сигнала на входе, тем меньше уровень нелинейных искажений. В нашем случае данный вид искажений пренебрежимо мал. Нелинейные искажения за счет разделительного конденсатора  $C_p$ , отсутствуют, если глубина модуляции высокочастотного сигнала меньше критического значения

$$m \leq m_{\text{кр}} = \frac{g_d}{g_n + g},$$

где  $g$  - входная проводимость следующего за детектором каскада.

Нелинейные искажения за счет инерционности нагрузки детектора отсутствуют при выполнении условия

$$\Omega \leq \frac{g_n \cdot \sqrt{1 - m^2}}{m \cdot C_n}.$$

### 3.4. Расчетное задание

3.4.1. Рассчитать коэффициент передачи линейного детектора немодулированного сигнала для варианта определенного преподавателем при различных сопротивлениях нагрузки детектора ( $R_n = R_{n1}; R_{n2}; R_{n3}$ ) для емкости нагрузки равной  $C_n = C_{n2}$ , пФ. Величина прямой проводимости  $g_d = 0.02$  См, а обратной -  $g_{\text{обр}} = 2.5 \cdot 10^{-6}$  См.

Таблица 3.1. Значения элементов нагрузки линейного детектора

№ п/п	Варьируемые элементы нагрузки					
	$R_{n1}$ , кОм	$R_{n2}$ , кОм	$R_{n3}$ , кОм	$C_{n1}$ , пФ	$C_{n2}$ , пФ	$C_{n3}$ , пФ
1.	6.2	27	510	36	1500	10000
2.	6.0	27	470	43	1600	11000
3.	6.2	30	510	40	1500	10000
4.	6.4	32	560	36	1400	9100
5.	6.1	32	510	40	1500	10000
6.	6.4	30	530	43	1600	10000
7.	6.3	36	560	39	1500	11000
8.	6.1	30	510	43	1400	9100
9.	6.2	32	560	43	1400	9100
10.	6.4	36	510	43	1500	9100

3.4.2. Определить верхние граничные частоты полосы пропускания детектора для возможных сочетаний величин сопротивлений и емкостей нагрузки, реализуемых в схеме лабораторного макета.

3.4.3. Для всех возможных значений сопротивлений нагрузки произвести расчет критической глубины модуляции, при которой возникают нелинейные искажения, обусловленные различием сопротивлений по переменному и постоянному токам.

3.4.4. Определить частоты модуляции, при которых появляются нелинейные искажения за счет инерционности нагрузки детектора. Расчет частот произвести для следующих нагрузок детектора, значения которых заданы преподавателем (см. таблицу 3.1). Величину глубины модуляции брать на 20% меньше критического значения.

3.4.5. Рассчитать входную проводимость детектора при возможных сопротивлениях нагрузки детектора, взятых из таблицы 3.1, в соответствии заданного преподавателем варианта.

### **3.5. Экспериментальное задание**

3.5.1. Снять зависимости коэффициента передачи детектора для немодулированного сигнала от величины сопротивления нагрузки  $R_n$  при максимальной емкости нагрузки детектора. Условия эксперимента сопротивление шунта выходного контура отключено.

3.5.2. Снять зависимости коэффициента передачи детектора  $K_d$  для немодулированного сигнала от емкости нагрузки при  $R_n = 510$  кОм. Параллельно с измерением коэффициента передачи произвести оценку величины остаточного радиочастотного напряжения на нагрузке детектора. Определить коэффициент фильтрации.

3.5.3. Определить верхнее значение полосы пропускания детектора и произвести сравнительную оценку с полосой пропускания колебательного контура. Колебательный предварительно контур необходимо зашунтировать сопротивлением  $R_{sh}$ .

3.5.4. Экспериментально определить значение глубины модуляции, при которой заметны искажения обусловленные различием сопротивлений по постоянному и переменному токам при включенном сопротивлении шунта колебательного контура. Сопротивление нагрузки детектора  $R_n = 30$  кОм,  $C_n = 1,5$  нФ. Глубина модуляции не должна превышать  $m_{кр}$ . Сопротивление шунта подключено, частота модуляции 200 Гц,  $R_n = 510$  кОм,  $C_n = 40$  пФ.

3.5.5. При условии, что глубина модуляции на 10% больше критического значения и  $R_n = 510$  кОм,  $C_n = 40$  пФ проследить измене-

ние формы выходного сигнала при изменении частоты модуляции. Зарисовать эпюру напряжения для частоты модуляции 200 Гц. Пронаблюдать характер изменения формы выходного сигнала из-за различия сопротивления по постоянному и переменному токам. Определить частоту модуляции, при которой проявляются нелинейные искажения обусловленные инерционностью нагрузки детектора.

Результаты измерений сравнить с результатами расчета.

### **3.6. Указания по проведению экспериментального исследования**

3.6.1. Произвести подготовку принципиальной в соответствии с рис 3.1 и таблицей 3.1, в соответствии с указаниями преподавателя.

3.6.2. Исследования детектора АМ - сигналов проводятся во временной области. Частота модулирующего сигнала равна 465 кГц, амплитуда несущей – 1 В.

3.6.3. При исследовании зависимости коэффициента передачи детектора для немодулированного сигнала от величины сопротивления нагрузки  $R_n$  при максимальной емкости нагрузки детектора, рекомендуется выводить эпюры напряжение на одну осциллограмму.

3.6.4. Сопротивление шунта контура, настроенного на частоту 456 кГц, меняется при измерении полосы пропускания и определении верхней частоты модулирующего колебания.

Рассказать о форме представления результатов в виде временной диаграммы

### **3.7. Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. Дать определение детектора амплитудно-модулированных сигналов.
2. Какие типы детекторов АМ сигналов Вы знаете?
3. Каково назначение детектора в радиоприемных устройствах?
4. Какими основными качественными показателями характеризуются детекторы?
5. Чем определяется линейный участок детекторной характеристики?
6. Какие виды нелинейных искажений проявляются в амплитудном детекторе?
7. Чем определяется уровень нелинейных искажений, обусловленных различием по переменному и постоянному токам?

8. Чем определяется уровень нелинейных искажений, обусловленных инерционностью нагрузки?

9. Каков вид нелинейных искажений, обусловленных различием по переменному и постоянному токам?

10. Каков вид нелинейных искажений, обусловленных инерционностью нагрузки?

11. Как меняется коэффициент передачи детектора для немодулированного сигнала при увеличении сопротивления нагрузки и почему?

12. Как влияет величина емкости нагрузки на коэффициент передачи детектора при немодулированном сигнале.

13. Как изменится коэффициент передачи детектора при использовании германиевого диода вместо диода, выполненного на основе кремния?



## 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.