

С.И. Богомолов

**Сети ЭВМ и средства коммуникаций**

Лабораторный практикум

Министерство образования и науки РФ  
Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Радиотехнический факультет  
Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

«Утверждаю»

/ Зав. кафедрой ТОР

А. В. Пуговкин

 \_\_\_\_\_ 2009 г.

Лабораторный практикум  
по дисциплине  
«Сети ЭВМ и средства коммуникаций»  
для студентов факультета вычислительных систем

Лабораторный практикум составил:  
к.т.н., доцент С.И. Богомолов

Томск - 2009 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Общие положения.....	4
Правила выполнения лабораторных работ.....	4
Содержание и оформление отчета .....	5
Защита работы.....	5
РАБОТА № 1 .....	7
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ QUCS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВ КОММУНИКАЦИЙ.....	7
Общие сведения по выполнению работ.....	7
Лабораторное задание .....	8
РАБОТА № 2 .....	9
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНИЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА QUCS.....	9
Краткие сведения о моделях линии связи .....	9
Предварительная подготовка.....	10
Контрольные вопросы .....	11
Лабораторное задание .....	12
РАБОТА № 3 .....	16
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА QUCS .....	16
Краткие сведения о моделях сигналов.....	16
Предварительная подготовка.....	17
Контрольные вопросы .....	17
Лабораторное задание .....	18
РАБОТА № 4 .....	25
ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ КОДИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА QUCS.....	25
Краткие сведения о моделях источников сигналов .....	25
Предварительная подготовка.....	26
Контрольные вопросы .....	27
Лабораторное задание .....	28

# **ВВЕДЕНИЕ**

## ***ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ***

Лабораторный практикум по курсу «Сети ЭВМ и средства коммуникаций» имеет целью закрепить и расширить теоретические знания студентов при изучении принципов построения и функционирования устройств и систем коммуникации сетей ЭВМ, ознакомить их с методикой исследования основных характеристик каналов связи, в том числе, и с использованием моделирования устройств и систем связи.

Данный цикл лабораторного практикума, предназначенного для студентов специальности 220501, содержит описание следующих работ:

Исследование характеристик линий связи сетей ЭВМ.

Исследование характеристик сигналов каналов связи

Работа «Использование пакета моделирования электронных схем QUCS для исследования средств коммуникаций» не является обязательной и выполняется в часы самостоятельной подготовки в полном объеме лишь для получения навыков работы с пакетом QUCS. В то же время некоторые разделы этой работы выполняются обязательно, и отчет об их выполнении является своеобразным допуском к выполнению работы № 1.

## ***ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ***

Перед выполнением работы студенты на этапе предварительной подготовки:

- а) изучают соответствующие разделы теоретического курса;
- б) знакомятся с описанием лабораторной работы и подготавливают шаблон отчета по лабораторной работе;
- в) выполняют необходимые предварительные расчёты, изложенные в разделе «Предварительная подготовка».

К выполнению лабораторных работ допускается только студенты, выполнившие требования предыдущего раздела, и подтвердившие свою подготовленность при собеседовании с преподавателем.

Лабораторные работы выполняются индивидуально фронтальным методом. При выполнении работ рекомендуется следовать методическим указаниям. Разрешается проведение допол-

нительных исследований (не в ущерб основному заданию).

В процессе выполнения работы составляется предварительный отчёт, который должен содержать таблицы и графики полученных экспериментально зависимостей.

Если при составлении предварительного отчёта выявится недостаточность или сомнительность полученных данных, то необходимо экспериментально получить недостающие данные и произвести проверку сомнительных результатов.

Работа считается выполненной после утверждения предварительного отчёта преподавателем.

Студенты, не выполнившие работу в часы занятий, выполняют её в специально отведённое время.

### ***СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА***

Отчёт по выполненной работе составляется индивидуально каждым студентом.

Отчёт оформляется на листах формата А4 (достаточно электронной копии в редакторе OpenOffice.org Writer). У осей графиков должна быть проставлены числовые значения и единицы размерности.

Отчёт должен содержать:

- а) цель исследования;
- б) результаты расчётов, полученных на этапе предварительной подготовки;
- в) структурные схемы устройств и систем, характеристик которых исследуются в данной работе;
- г) структурные схемы измерительных установок для исследования характеристик устройств и систем связи;
- д) результаты исследований в виде таблиц, графиков и изображений, получаемых на экранах измерительных приборов;
- е) выводы, полученные на основании анализа расчётных и экспериментальных данных.

### ***ЗАЩИТА РАБОТЫ***

Лабораторная работа считается выполненной после защиты результатов работы.

При защите результатов работы студент должен представить оформленный отчёт, сохраненные результаты компьютерного

эксперимента и продемонстрировать свои знания в следующих разделах работы:

а) структурные схемы исследуемых устройств и систем и основы их функционирования;

б) структурные схемы измерительных установок для исследования характеристик устройств и систем связи и характеристики, которые могут быть получены с помощью данных установок;

в) результаты расчетов предварительной подготовки;

г) теоретическое обоснование полученных экспериментальных зависимостей.

## **РАБОТА № 1**

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ QUCS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВ КОММУНИКАЦИЙ**

Целью работы «Исследования систем связи с помощью пакета моделирования электронных схем «QUCS.» является предварительная подготовка к выполнению цикла работ по исследованию характеристик систем связи с помощью пакетов схемотехнического.

Студенты, имеющие опыт исследования моделей электронных объектов с помощью пакета QUCS, могут ограничиться только обязательной частью этой работы (раздел «Лабораторное задание»). Отчет по этой части работы выполняется обязательно и предъявляется перед началом выполнения лабораторной работы № 1.

### ***ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТ***

Общая часть этой работы ориентирована на использование учебного пособия Thierry Scordilis. Mike Brinson, Gunther Kraut, Stefan Jahn, Chris Pitcher Workbook QUCS. Электронная копия этого пособия workbook\_ru.pdf размещена в папке S:\FreeSoftware\Qucs\Manual а также собственной справочной системы QUCS.

Первые шаги работы с QUCS изложены в разделе 3. «DC анализ, развертка параметра и модели устройств». Дополнительная информация работы с пакетом QUCS размещена в каталоге S:\FreeSoftware\Qucs\Manual а также на сайтах поддержки QUCS, например, <http://qucs.sourceforge.net>.

Основное внимание следует уделить приемам подготовки и редактирования модели а также установке параметров для расчета и представления результатов.

Для формирования отчета результаты моделирования в виде копии экрана последовательно переносятся на графический редактор, например. KolourPaint {кнопка К (аналог кнопки ПУСК в среде Windows) / ГРАФИКА /}, с последующим выбором нужных сегментов экрана и переносом их в текстовый редактор, например, Write.

Лабораторные работы и отчеты по ним выполняются под управлением операционной системы Linux. Общие сведения о системе Linux представлены на сервере S локальной сети кафедры ТОР и доступны по адресу `system:/home/server_S/1_Курсы Linux`. (из домашнего каталога пользователя). Более подробную информацию о каждой из команд системы Linux можно получить непосредственно из справочной службы операционной системы. Так, в режиме командной строки эту информацию можно получить, набрав в командной строке запросы вида:

```
$ info -h
```

либо

```
$ man -h,
```

где символ \$ означает приглашение командной строки.

### ***ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ***

1. Ознакомиться с операционной системой Linux по материалам, представленным в каталоге `S:\Linux` а также используя собственную службу помощи системы. Создать папку с названием `Lab_0` на сервере X. Промежуточные и окончательные результаты данной работы сохранять в этом каталоге.

2. Получить навыки работы с редактором Writer пакета OpenOffice.org (кнопка К / Офис /), используя собственную справочную систему программы. Заготовить шаблон отчета по лабораторной работе с названием `Name_0`, где Name – фамилия студента.

3. Получить представление о возможностях пакета моделирования QUCS по материалам, размещенным в каталоге `S:\FreeSoftware\Qucs\Manual\` локальной сети. Особое внимание обратить на раздел 3. «DC анализ, развертка параметра и модели устройств» пособия `Workbook_ru.pdf`.

4. В среде Linux запустить пакет QUCS (кнопка К / Научные и математические / САПР электронных устройств /). Ознакомиться с разделом «Быстрый старт» справочной системы QUCS.

5. Повторить последовательно все манипуляции, описанные в разделе 3 пособия `Workbook_ru.pdf` и убедиться в нормальном функционировании модели.

В отчете отразить исследуемые схемы и результаты моделирования.

## РАБОТА № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНИЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА QUCS

Целью работы «Исследования характеристик линий связи с помощью пакета QUCS» является изучение основных характеристик линий связи с помощью пакета схемотехнического моделирования QUCS и ознакомление с основными стандартами проводных кабелей

#### ***КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛЯХ ЛИНИИ СВЯЗИ***

Библиотека компонентов программы QUCS содержит ряд моделей компонентов линий связи (Компоненты / Линии передачи данных), в частности, симметричные и несимметричные частотно-независимые линии передачи, витая пара и коаксиальная линия. Каждый из этих компонентов представлен персональной моделью, отражающей зависимость электрических параметров данной линии передачи от геометрических размеров линии и физических свойств материалов, из которых изготовлены эти компоненты. С описанием моделей компонентов можно познакомиться в пособии *Technical.pdf* (раздел 13), размещенного в ЛВС кафедры ТОР: *S:\FreeSoftware\Qucs\Manual\*.

В то же время для экспресс оценки основных характеристик линии передачи гут быть выбраны упрощенные модели линии связи, не учитывающих некоторые характеристики и параметры, которые не оказывают существенного влияния на результаты анализа. В частности за основу модели линии связи (независимо от конструкции и физической природы исполнения) будем использовать эквивалентную схему проводной линии передачи, представляемую в виде последовательно соединенной цепочки Г-образных секций. На рисунке 1 представлена одна секция, в последовательной ветви которой отражены погонные (на единицу длины) активное продольное сопротивление  $R$  и индуктивность  $L$  линии, а в параллельной ветви учтены погонные емкость  $C$  линии и ее поперечная проводимость  $G$  (в большинстве случаев поперечной проводимостью линии  $G$  можно пренебречь). В справочной литературе эти параметры указывают на единицу длины (например, пФ/м, либо Ом/км).

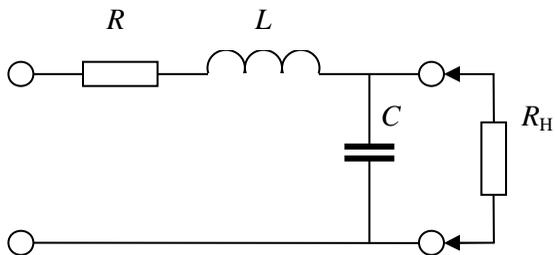


Рис.1. Эквивалентная схема линии связи

Кроме этих параметров линии, называемых первичными, на практике используют вторичные параметры. Коэффициент распространения  $\gamma$  в длинной линии для гармонического сигнала с частотой  $\omega$  определяется в соответствии с соотношением:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \beta + j\alpha,$$

где  $\beta$  – коэффициент затухания;

$\alpha$  – коэффициент фазы.

В области высоких частот  $\omega L \gg R$  и  $\omega C \gg G$ , и справедливы предельные соотношения:

$$\beta \approx \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{и} \quad \alpha \approx \omega \sqrt{LC}.$$

Волновое сопротивление линии  $\rho$  определяется как

$$\rho = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}.$$

Волновое сопротивление линии зависит от ее размеров и свойств применяемых материалов. Например, для коаксиального кабеля наибольшее влияние на него оказывают диаметры внутренней проводящей жилы  $d$  и внешнего экрана  $D$ , а также относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика  $\epsilon$ :

$$\rho \approx (60 / \sqrt{\epsilon}) * \ln(D / d).$$

### **ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА**

Ознакомиться с характеристиками линий связи и стандартами кабелей, используемых в каналах передачи данных по материалам лекций и рекомендуемой в данном пособии литературы а также ресурсов, размещенных на сервере S ЛВС кафедры ТОР

в каталоге \Sety\_EVM\Liter.

Рассчитать погонную эквивалентную индуктивность  $L$  [мГн] линии связи, эквивалентное волновое сопротивление  $\rho$  [Ом] и емкость  $C$  [пФ] которого для соответствующего варианта приведены в таблице 1.

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R$	52	74	58	35	62	55	42	52	84	50
$C$	50	45	52	58	48	52	44	55	60	54
$\rho$	75	100	75	120	75	75	100	75	120	75

Рассчитать волновое сопротивление коаксиального кабеля, геометрические размеры и характеристики используемых материалов которого для соответствующего варианта приведены в таблице 2. В таблице приняты следующие обозначения:  $d$  - диаметр [мм] внутренней жилы кабеля,  $D$  - диаметр [мм] внешнего экрана,  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость изолирующего слоя.

Таблица 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d$	1,69	0,69	1,02	0,37	1,78	0,6	0,72	0,94	0,22	0,89
$D$	6,4	4,95	5	1,5	7,3	6,2	8,4	10,5	2,8	11
$\epsilon$	2,3	2,4	2,2	2,3	2,4	3,0	2,9	3,0	3,1	3,0

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие типы линий связи Вам известны? Основные черты.
2. Общие сведения об аппаратуре передачи данных.
3. Перечислить основные характеристики линий связи
4. Чем отличаются характеристики от параметров линий связи. Примеры.
5. Дать общие сведения об амплитудно-частотной характеристике линии связи.
6. Раскрыть понятия «Полоса пропускания» линии связи и «Затухание».
7. Что такое пропускная способность линии связи?
8. Чем вызваны перекрестные наводки в линии связи и как они оцениваются?
9. Что такое помехоустойчивость линии связи?

10. Раскрыть понятие «Достоверность передачи данных».
11. Общие сведения о стандартах кабелей. Какие организации участвуют в стандартизации?
12. Перечислить основные характеристики промышленных кабелей.
13. Общие сведения о кабелях на основе неэкранированной витой пары.
14. Основные характеристики кабелей на основе неэкранированной витой пары категории 5.
15. Основные характеристики кабелей на основе неэкранированной витой пары категорий 6 и 7.
16. Общие сведения о кабелях на основе экранированной витой пары.
17. Общие сведения о коаксиальных кабелях.
18. Дать сравнительный анализ полос пропускания различных кабелей.
19. Дать общую характеристику частотных диапазонов, применяемых в связи.
20. В каких целях используется эквивалентной схеме линии связи и ее основные компоненты?

### **ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ**

1. Средствами пакета QUCS собрать схему для исследования характеристик линии связи на основе коаксиального кабеля в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2. Длину линии связи установить 2 м.

Параметры коаксиального кабеля выбрать в соответствии с

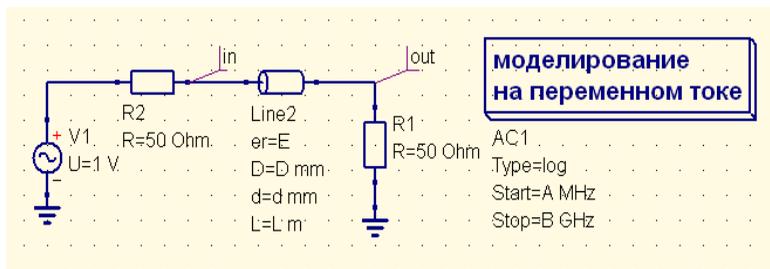


Рис.2. Схема для исследования характеристик линии связи на основе коаксиального кабеля

расчетами предварительного задания. Параметры проводимости проводника и потерь диэлектрика, а также температуру среды полагать неизменными.

Параметры всех элементов, в том числе и условий моделирования, можно модифицировать после нажатия правой кнопки мыши для того объекта, на который указывает курсор мыши, и выборе пункта выпадающего меню ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ.

2. Величины сопротивлений  $R1$  и  $R2$  выбрать равными волновому сопротивлению линии связи. Для расчета этого сопротивления в закладке ИНСТРУМЕНТЫ / РАСЧЕТ ЛИНИЙ / КООКСИАЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ установить соответствующие параметры в окнах ПАРАМЕТРЫ ПОДЛОЖКИ и ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ. После активации кнопки АНАЛИЗ результаты расчетов появятся в окне ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ.

3. Границы диапазона частот  $A$  и  $B$  на первом этапе устанавливать, соответственно, 1 МГц и 200 МГц. В последующих испытаниях величины  $A$  и  $B$  выбирать так, чтобы ордината графика на краю диапазона составляла 45...55 % от его значения в начале диапазона.

4. После введения всех параметров моделирования запустить процесс моделирования: МОДЕЛИРОВАНИЕ / МОДЕЛИРОВАТЬ. Программа запросит имя и место размещения файла. Файлы сохранять под именами, например, *Sch1*, *Sch2* и т.д. в каталоге  $X:\backslash Lab1$ .

5. Результаты анализа должны быть представлены в графической форме. При этом по окончании анализа на левом рабочем поле программы QUCS раскроется библиотека диаграмм. Нужную диаграмму (в данном случае – Декартовскую) следует вынести на правое рабочее поле. В окне НАБОР ДАННЫХ двойным щелчком выбрать имя переменной (или нескольких переменных), которая будет представлена на графике.

6. Подобрать границы диапазона частот  $A$  и  $B$  так, чтобы при повторном испытании выполнялись условия п. 3. Определить полосу пропускания линии связи по значению частоты, при которой амплитуда гармонического сигнала уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз.

7. В отчет внести схему испытаний с соответствующими па-

раметрами, а также результаты испытаний данной схемы в виде графика АЧХ и значения полосы пропускания линии связи.

8. Повторить испытания по п.п. 1...7 для значений длин линий связи, соответственно, 15 м, 100м, 500 м, 2,5 км. Не забывать сохранять схемы и результаты исследований.

9. Средствами пакета QUCS собрать схему для исследования характеристик линии связи на основе витой пары в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3. Длину линии связи установить 2 м. Сопротивления R1, R2 выбрать равными по 50 Ом.

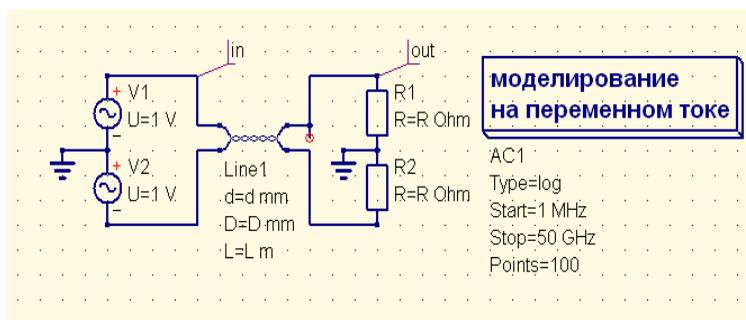


Рис.3. Схема для исследования характеристик линии связи на основе витой пары

Параметры витой пары для соответствующего варианта выбрать из таблицы 3. Параметры проводящей среды и изолирующего слоя, а также температуру среды полагать неизменными.

В таблице приняты следующие обозначения:  $d$  - диаметр проводящей жилы,  $D$  - диаметр провода вместе с изоляцией,  $T$  - количество витков на 1 метр,  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость изолирующего слоя.

Таблица 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d$	0,51	0,65	0,52	0,66	0,50	0,64	0,52	0,65	0,51	0,66
$D$	0,92	1,12	0,96	1,22	0,90	1,10	0,94	1,15	0,92	1,18
$T$	6	7	8	9	8	7	6	7	8	5
$\epsilon$	2,3	2,4	2,2	2,3	2,4	3,0	2,9	3,0	3,1	3,0

10. Установить значения сопротивлений  $R1$  и  $R2$  равными 75 Ом. Снять частотную зависимость амплитуды гармонического сигнала в узле «out». Обратит внимание на характер поведения графика.

11. Повторить исследования по п. 10 для значений сопротивлений  $R1$  и  $R2$ , равных 35 Ом.

12. Обеспечить режим согласования сопротивлений линии и нагрузки (согласование по выходу). Для этого подобрать такое значений сопротивлений  $R1$  и  $R2$ , при котором устраняется волновой характер поведения графика АЧХ. Запомнить это значение.

13. Ввести резисторы с таким же значением сопротивления в цепь источника сигнала в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4. Такой режим соответствует условию согласования сопротивлений линии и источника сигнала (согласование по входу).

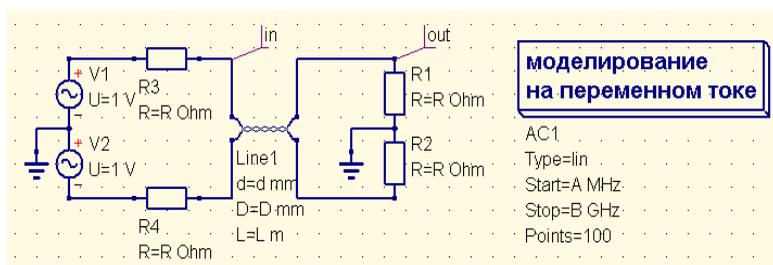


Рис.4. Схема для исследования характеристик линии связи на основе витой пары

14. Снять частотную зависимость амплитуды гармонического сигнала в узле «out». Определить полосу пропускания линии связи с учетом п. 7.

15. Повторить исследования по п. 14 для значений длин линий связи, соответственно, 15 м, 100м, 500 м, 2,5 км.

В отчете представить исследуемые схемы и результаты моделирования. В выводах следует отразить наиболее существенные особенности линий связи.

## РАБОТА № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА QUCS

Целью работы «Исследования характеристик сигналов линий связи с помощью пакета QUCS» является изучение основных временных и спектральных характеристик управляющих и модулированных сигналов, знакомство с базовыми моделями сигналов и их основными характеристиками, а также закрепление навыков работы с пакетом схемотехнического моделирования QUCS.

#### ***КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛЯХ СИГНАЛОВ***

Библиотека компонентов программы QUCS содержит ряд моделей источников сигналов (Компоненты / Источники), в частности, источники постоянного тока и напряжения, источники гармонических и импульсных колебаний, в том числе, и с возможностью модуляции параметров, источники шума, а также источники сигналов, форма которых задается пользователем. С описанием моделей компонентов можно познакомиться в пособии *Technical.pdf* (раздел 15), размещенного в ЛВС кафедры TOP: *S:\FreeSoftware\Qucs\Manual\*.

Обычно сигналы описывают во временной (интервал времени, в течении которого существует сигнал, его форма), либо частотной (диапазон частот, спектральный состав) областях, однозначно связанных преобразованиями Фурье. Так периодическая последовательность импульсов прямоугольной формы длительностью  $\tau$ , амплитудой  $E$  периодом повторения  $T$  может быть представлена бесконечной суммой гармонических колебаний, частота которых определяется отношением  $n/T$ , а амплитуда  $2 \cdot E \cdot \sin(n \cdot \pi \cdot \tau / T) / (n \cdot \pi)$ , где  $n$  – номер гармоники.

В локальных вычислительных системах наиболее часто используют однополярные сигналы на основе двоичного кода, в вычислительных сетях для того, чтобы обеспечить передачу информации по протяженным линиям связи с соответствующим качеством, приходится использовать сигналы, обладающими разнообразными свойствами.

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА**

Ознакомиться с характеристиками сигналов в линиях связи по материалам лекций и рекомендуемой в данном пособии литературы а также ресурсов, размещенных на сервере *S* ЛВС кафедры ТОР в каталоге *\Sety\_EVM\Liter*.

Рассчитать величину постоянной составляющей сигнала и амплитуды первых 5 гармоник периодической последовательности импульсов прямоугольной формы, длительность активной части которых равна  $\tau$  мс, амплитуда которых равна  $E$  В, длительность периода составляет  $T$  мс. Параметры последовательности импульсов  $\tau$ ,  $E$  и  $t$  для соответствующего варианта представлены в таблице 1.

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau$	30	50	20	40	60	35	55	25	45	65
$t$	70	120	50	90	150	75	125	55	95	145
$E$	3	4	8	7	5	2	6	9	1	3

Рассчитать среднюю мощность сигнала на нагрузке, сопротивление которой равно 50 Ом, на интервале, равном одному периоду. Рассчитать суммарное значение мощностей всех рассчитанных гармоник (включая постоянную составляющую) на нагрузке с тем же сопротивлением.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какая связь существует между временным и частотным представлением сигналов (если такая связь существует)?
2. В каких соотношениях между собой находятся спектр сигнала и частотная характеристика линии связи? Что происходит при нарушении этого соотношения?
3. Что представляет собой спектр периодического сигнала?
4. Из каких компонент состоит спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов?
5. С какой целью используется модуляция сигналов?
6. Раскрыть понятие: «амплитудная модуляция».
7. Какие преобразования происходят с исходными сигналами при фазовой модуляции?
8. Каковы особенности спектра модулированных сигналов?

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Средствами пакета QUCS собрать схему для исследования характеристик периодических сигналов в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1. Амплитуду колебаний гармонического сигнала установить равной 1 В, частоту колебаний – 1 кГц (на вкладке свойств источника переменного напряжения для этих параметров установить флажки «Показывать на схеме»). На вкладке свойств моделирования переходного процесса установить параметры в соответствии с рисунком 1. Сохранить схему с

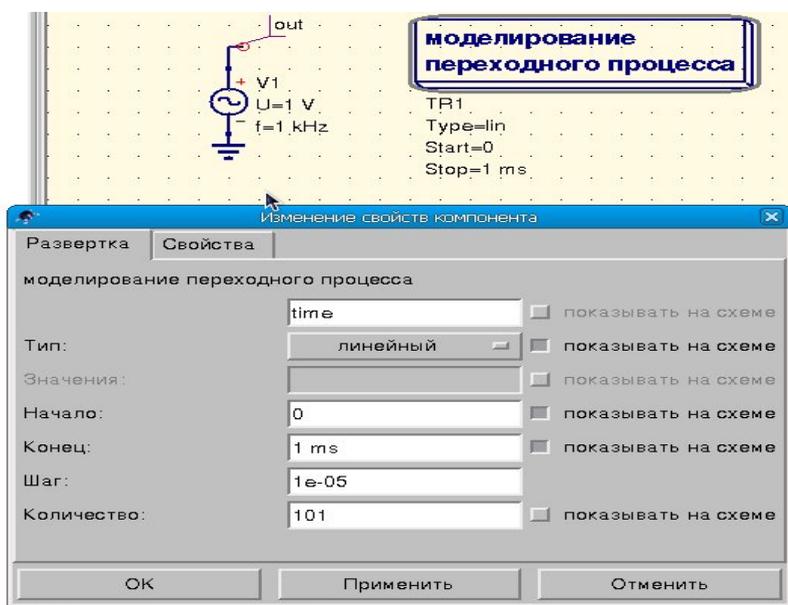


Рис.1. Схема для исследования временных характеристик сигналов. Выбор параметров моделирования

уникальным именем в своем каталоге.

2. Выполнить моделирование схемы. Результаты моделирования представить в графической форме в декартовой системе координат. Для этого на вкладке свойств диаграммы выбрать соответствующий график (в данном случае это будет зависимость напряжения “*out.Vt*” от времени) в соответствии с рисунком 2.

3. Дополнить схему исследований вторым источником переменного напряжения V2 с параметрами, выбранными в соответствии с рисунком 3. Выполнить моделирование, результаты которого просмотреть на выводе “out.Vt”.

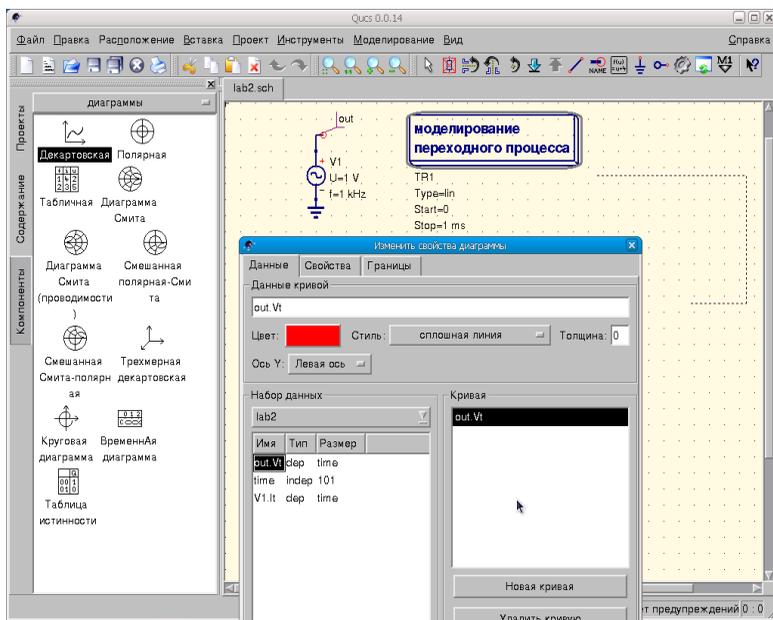


Рис.2. Схема для исследования характеристик сигналов. Выбор параметров представления результатов

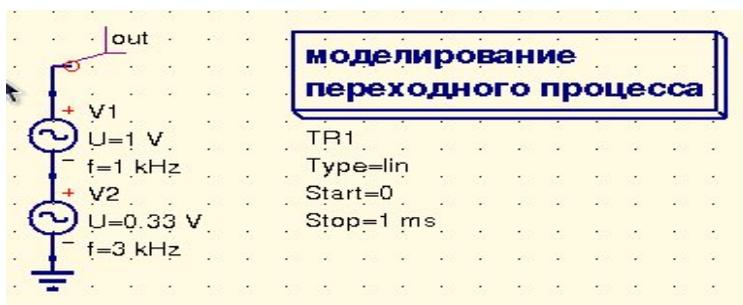


Рис.3. Схема для исследования характеристик сигналов. Суммирование сигналов

4. Дополнить схему исследований третьим источником переменного напряжения V3 с параметрами, выбранными в соответствии с рисунком 4. Выполнить моделирование, результаты которого просмотреть на выводе “out.Vt”.

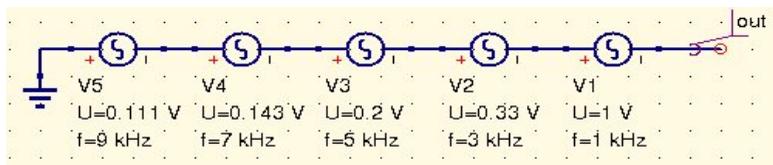


Рис.4. Схема для представления оценки периодического сигнала набором гармоник

Наблюдать тенденцию изменения формы результирующего сигнала при увеличении количества гармоник.

5. Повторить исследование по п.4 при подключении всех источников переменного напряжения в соответствии с рисунком 4.

6. Повторить исследование характеристик сигнала по п.5. При этом в качестве гармонических колебаний использовать параметры сигналов, полученных в результате предварительной подготовки.. Отрицательные значения амплитуды  $U$  какой-либо из гармоник означает изменение полярности источника гармонического сигнала. Начальные фазы  $\varphi$  всех гармоник установить равными 90 градусов. Сравнить исходный (из предварительного задания) и результирующий синтезированный сигналы.

7. Для определения спектральных характеристик сигнала в схему исследований следует ввести блок преобразований (Вставка / Вставить уравнение, либо кнопка «Вставить уравнение» на панели инструментов). Компонент «Уравнение» может быть размещен в любом месте рабочей области.

Конкретные операции (в данном случае – это преобразование Фурье) уточняются путем изменения параметров вкладки «Свойства уравнения». Справочные данные о доступных преобразованиях приведены в пособии *Technical.pdf* (раздел 15), размещенного в ЛВС кафедры ТОР:  $S:\backslash\text{FreeSoftware}\backslash\text{Qucs}\backslash\text{Manual}\backslash$ . Например, в данном случае в соответствии с рисунком 5 имя переменной  $dft$  выбрано произвольно, запись в поле значения “ $dft(out.Vt)$ ” означает вычисление дискретного преобразования

Фурье для отсчетов напряжения во временной области на выводе схемы с именем “out”.

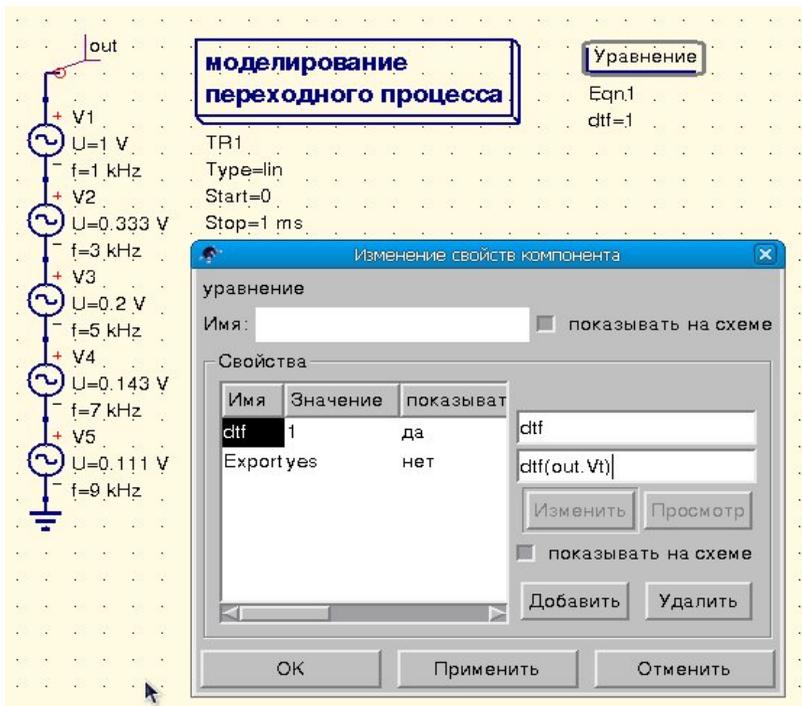


Рис.5. Схема для исследования спектральных характеристик сигнала. Введение блока преобразований

8. После сохранения схемы выполнить моделирование. Результаты моделирования выводить также в виде графика в декартовой системе координат, но характер графика этой переменной установить прерывистым (спектр периодического сигнала представляет собой дискретные отсчеты). Для этого на вкладке изменения свойств диаграммы в поле «Кривая» выделить переменную “*dfi*”, а стиль графика с помощью выпадающего меню в соответствии с рисунком б.установить в состояние «Стрелочки»

Примечание: Нумерация отсчетов спектральных составляющих в данной версии QUCS начинается не с нуля, а с едини-

цы, то есть нужно иметь в виду, что истинное значение номера гармоники должно быть на единицу меньше, чем это представлено на результатах работы (таблицах, графиках) программы QUCS.

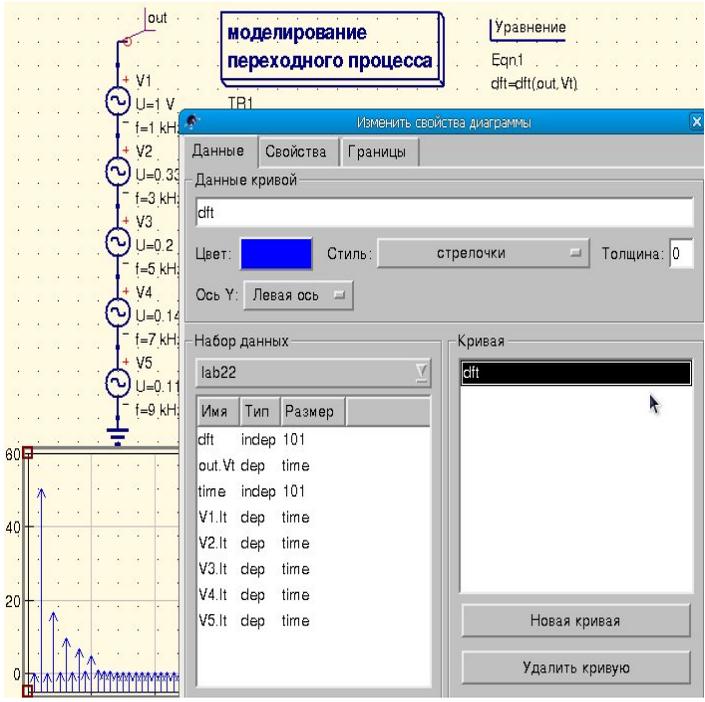


Рис.6. Схема для исследования спектральных характеристик сигнала. Вывод результатов моделирования

9. Собрать схему для исследования временных характеристик амплитудно-модулированных сигналов и установить параметры моделирования в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 7.

10. После сохранения схемы выполнить моделирование. Результаты моделирования в виде зависимостей мгновенных значений напряжений на выводах “in” и “out” выводить на соответствующих графиках.

11. Собрать схему для исследования спектральных характеристик амплитудно-модулированных сигналов (добавить блоки



Рис.7. Схема для исследования временных характеристик амплитудно-модулированных сигналов

преобразования Фурье и установить параметры моделирования в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 8.

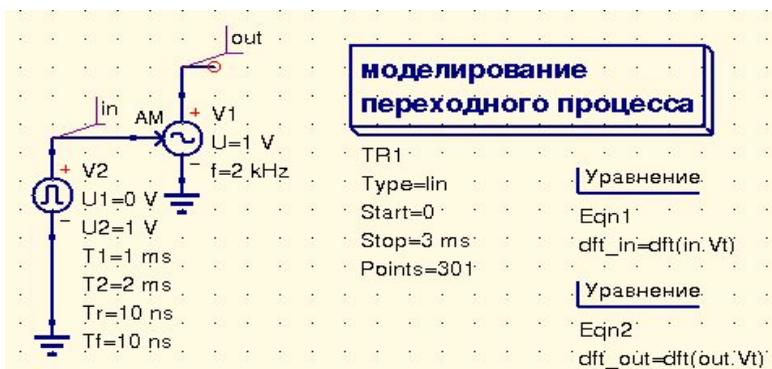


Рис.8. Схема для исследования спектральных характеристик амплитудно-модулированных сигналов

12. Изменить коэффициент амплитудной модуляции источника с АМ модуляцией (вкладка «Изменение свойств компонента». В окне «Свойства» установить параметр  $m$  равным 0,5).

13. Повторить исследования временных и спектральных характеристик АМ сигнала по п.п.9-11 для сигналов с коэффициентом амплитудной модуляции  $m=0.5$ . Выявить характер основных изменений исследуемых характеристик.

14. Собрать схему для исследования временных характери-

стик фазомодулированных сигналов и установить параметры моделирования в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 9.



Рис.9. Схема для исследования временных и спектральных характеристик фазомодулированных сигналов

15. После сохранения схемы выполнить моделирование. Результаты моделирования в виде зависимостей мгновенных значений напряжений на выводах “in” и “out” выводить на соответствующих графиках.

16. Изменить коэффициент фазовой модуляции источника с фазовой модуляцией (вкладка «Изменение свойств компонента» в окне «Свойства» установить параметр  $M$  равным 0.25).

17. Повторить исследования временных и спектральных характеристик ФМ сигнала по п.п.14-16 для коэффициента модуляции  $m=0,25$ . Выявить характер основных изменений исследуемых характеристик.

В отчете представить исследуемые схемы и результаты моделирования. В выводах следует отразить взаимосвязь и наиболее существенные особенности временных и спектральных характеристик управляющих сигналов, а также особенности характеристик модулированных сигналов.

## РАБОТА № 4

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ КОДИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА QUCS

Целью работы «Исследования способов кодирования сигналов линий связи с помощью пакета QUCS» является изучение основных характеристик кодированных сигналов, используемых в линиях связи, расширение знакомства с базовыми моделями сигналов и их источников, а также закрепление навыков работы с пакетом схемотехнического моделирования QUCS.

### ***КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛЯХ ИСТОЧНИКОВ СИГНАЛОВ***

Библиотека компонентов программы QUCS наряду с источниками стандартных форм сигналов содержит также модели источников сигналов произвольной формы (Компоненты / Источники / Источник напряжения на основе файла либо Источник тока на основе файла). В этом случае временную модель сигнала задает пользователь. С описанием моделей компонентов можно познакомиться в пособии *Technical.pdf* (раздел 15), размещенного в ЛВС кафедры ТОР: *S:\FreeSoftware\Qucs\Manual\*, а также собственной справочной системы QUCS.

Для описания сигнала во временной области используют файл специального формата с перечислением состояний сигнала в конкретные моменты времени. Поведение сигнала между этими моментами может быть изменено с помощью переключения порядка интерполяции (нулевой, первый или второй порядок).

Файл описания поведения сигнала во временной области имеет следующий формат:

*<Qucs Dataset 0.0.14>*

*<indep time N>*

...

...

...

...

*</indep>*

*<dep node.name, time>*

...

...

...

...

*</dep>*.

Первая строка в данном случае служит для идентификации файла и содержит сведения о его типе и версии программы. Вторая и последующие строки содержат сведения о независимой переменной (*indep*), в данном случае – это время, причем для описания поведения сигнала используется список, содержащий *N* отсчетов. Список заканчивается завершающим словом *</indep>*.

Список значений сигнала в перечисленные моменты времени размещен в интервале между ограничителями *<dep node.name, time>* и *</dep>*, где *node.name* содержит информацию о названии узла (*node*) и зависимой переменной (*name*), наблюдаемой на этом узле.

В модели источника сигнала указывается местоположение файла, описывающего поведение сигнала.

Опциями программы QUCS предусмотрена возможность повторения данного отрезка сигнала, то есть для использования его в качестве периодического сигнала.

### **ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА**

Ознакомиться с характеристиками кодирования сигналов в линиях связи по материалам лекций и рекомендуемой в данном пособии литературы а также ресурсов, размещенных на сервере S ЛВС кафедры ТОР в каталоге *\Sety\_EVM\Liter*.

Получить двоичный код числа *N* для своего варианта согласно таблицы 1.

Дополнить полученный двоичный код битом паритета. При этом четные номера вариантов используют паритет четности, нечетные – паритет нечетности.

Преобразовать полученное число с помощью кодирования 4В/5В.

Представить полученный двоичный код *N* в виде сигналов с

использованием следующих способов кодирования:

- потенциальный код NRZ;
- биполярный код AMI(NRZI);
- биполярный импульсный код;
- манчестерский код;
- потенциальный код 2B1Q.

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>N</i>	93	111	93	104	115	99	89	107	120	86
<i>U</i>	3	4	6	2	5	7	8	9	1	3

Примечание: В таблице под *U* понимается амплитуда перепада сигнала.

Получить 10-разрядный двоичный код числа для своего варианта согласно таблицы 2.

Представить полученный двоичный код *N* в виде сигналов с использованием следующих способов кодирования:

- потенциальный код B8ZS;
- потенциальный код HDB3.

Таблица 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>N</i>	514	258	769	257	513	770	520	772	260	516
<i>U</i>	3	4	6	2	5	7	8	9	1	3

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В чем различие между потенциальным и импульсным кодированием?
2. Какие требования предъявляются к методам кодирования?
3. Для чего нужна синхронизация передатчика и приемника?
4. Что такое самосинхронизирующиеся коды?
5. Как выполняется синхронизация передатчика и приемника на небольших расстояниях?
6. Как осуществляется синхронизация передатчика и приемника на больших расстояниях?
7. Что такое потенциальное кодирование без возвращения к нулю?
8. Недостатки потенциального кодирования без возвраще-

- ния к нулю.
9. Раскрыть метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией.
  10. Достоинства и недостатки метода биполярного кодирования с альтернативной инверсией?
  11. Пояснить метод потенциального кодирования с инверсией при единице.
  12. Достоинства и недостатки метода потенциального кодирования с инверсией при единице.
  13. Достоинства и недостатки биполярного импульсного кода.
  14. Что такое потенциальный код 2B1Q?
  15. Для чего применяются избыточные коды?
  16. Что такое код 4B/5B?
  17. Достоинства и недостатки кода 4B/5B.
  18. Что такое скремблирование?
  19. Достоинства и недостатки кода B8ZS.
  20. Достоинства и недостатки кода HDB3.

### ***ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ***

1. В своем каталоге для данной лабораторной работы создать текстовый файл с именем Vfile3.dat. В файл внести следующие данные:

```
<Qucs Dataset 0.0.14>
<indep time 9>
0
0.00005
0.001
0.00105
0.002
0.00205
0.003
0.00305
0.004
</indep>
<dep V1.It, time>
0
1
```

1  
0  
0  
-1  
-1  
0  
0  
</dep>.

2. Средствами пакета QUCS собрать схему для формирования сигнала произвольной формы в соответствии с рисунком 1.



Рис.1. Схема для исследования временных характеристик сигналов произвольной формы.

3. Открыть вкладку «Изменение свойств» источника сигнала.

В окне изменения параметров «File» внести полный путь к файлу с отсчетами сигнала Vfile3.dat.

В окне изменения параметров «Interpolator» установить тип интерполяции «hold».

4. На вкладке свойств моделирования переходного процесса установить параметры в соответствии с рисунком 1. Сохранить схему с уникальным именем в своем каталоге.

5. Выполнить моделирование схемы. Результаты моделирования представить в графической форме в декартовой системе

координат. Для этого на вкладке свойств диаграммы выбрать соответствующий график (в данном случае это будет зависимость напряжения “ $out.Vt$ ” от времени) в соответствии с рисунком 1.

6. Для определения спектральных характеристик сигнала в схему исследований следует ввести блок преобразований. Б данный блок внести операцию определения дискретного преобразования Фурье на выводе источника сигнала в соответствии с рисунком 2.

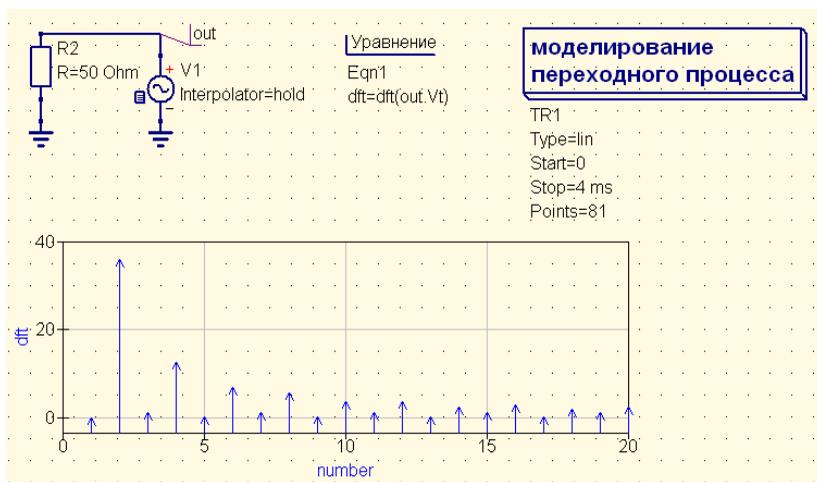


Рис.2. Схема для исследования спектральных характеристик сигналов произвольной формы.

7. После сохранения схемы выполнить моделирование. Результаты моделирования спектра сигнала представить в графической форме.

8. Для более наглядного представления информации целесообразно исключить из графика области, не несущие полезных данных. Для этого на вкладке «Изменение свойств диаграммы» следует установить флажок в окне «вручную», а затем выбрать желаемые параметры представления графического материала. Например, вариант изменения параметров графика представлен на рисунке 3.

9. Средствами пакета QUCS собрать схему для формирова-

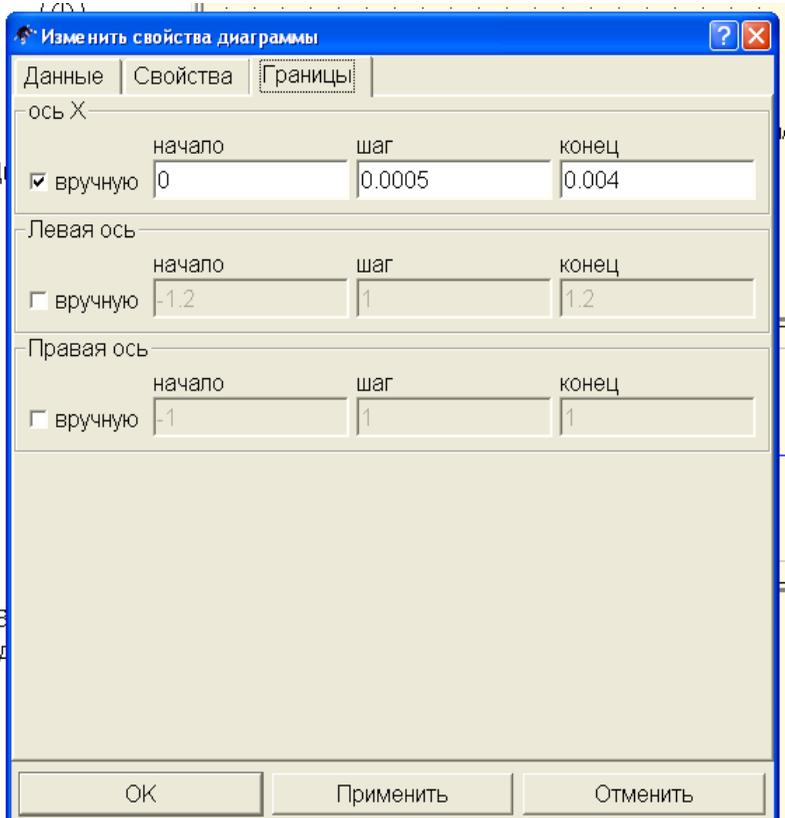


Рис.3. Вкладка изменения свойств диаграммы. Выбор границ представления результатов.

ния сигналов произвольной формы на основе потенциального кодирования NRZ, сформированного на этапе предварительной подготовки .

10. Выполнить моделирование источника сигнала во временной области и убедиться в соответствии полученных результатов исходному заданию.

11. Дополнить схему блоком преобразования Фурье и получить результаты моделирования для спектральных характеристик исследуемого сигнала.

12. Повторить п.п. 9...11 для остальных сигналов, получен-

ных в результате предварительной подготовки.

13. Сравнить спектральные характеристики полученных сигналов. При этом обратить внимание на ширину спектра исследуемых сигналов.

Выбрать сигнал с минимальной шириной спектра.

14. В выводах отразить достоинства и недостатки каждого из способов кодирования.