

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Богомолов С. И.

ТЕОРИЯ СИГНАЛОВ И ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 11.03.02
по дисциплине Сигналы электросвязи

Томск – 2021

УДК 621.391

ББК 32.841

Б 744

Рецензент:

Попова А. И., доцент кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУРа, канд. физ.-мат. наук

Богомолов, Сергей Ильич

Б 744 Теория сигналов и линейные цепи: Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 11.03.02 по дисциплине Сигналы электросвязи / С. И. Богомолов. – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2021. - 40 с.

Настоящие учебно-методическое пособие содержит методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине Сигналы электросвязи. Первая часть лабораторного практикума по данной дисциплине имеет целью ознакомить студентов с методикой исследования электронных цепей и сигналов, и дать практические навыки в работе с основными радиоизмерительными приборами.

Одобрено на заседании кафедры ТОР, протокол № 7 от 1 апреля 2021 г.

УДК 621.391
ББК 32.841

© Богомолов С. И., 2021

© Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Лабораторная работа № 1.....	5
ПРАКТИКА АППАРАТУРНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТЯХ.....	5
2 Лабораторная работа № 2.....	17
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ	17
3 Лабораторная работа № 3.....	26
ПРОХОЖДЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ.....	26
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	38
ПРИЛОЖЕНИЕ А	39
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	39

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по курсу "Сигналы электросвязи" имеет целью закрепить и расширить теоретические знания студентов в области радиоэлектроники, ознакомить их с методикой исследования электронных схем и дать практические навыки в работе с основными радиоизмерительными приборами.

Первая часть лабораторного практикума, предназначенного для студентов направления подготовки 11.03.02, содержит описание следующих работ:

1. Практика аппаратурного анализа сигналов во временной и частотной областях.
2. Исследование спектров управляющих сигналов.
3. Прохождение управляющих сигналов через линейные цепи.

Лабораторные работы данного перечня выполняются на базе пакета программ схемотехнического моделирования QUCS. Программный продукт QUCS – это один из симуляторов электрических цепей с открытой лицензией, который может работать под управлением операционных систем Windows, Linux. Русифицированную версию можно скачать в ЛВС кафедры ТОР: S:\FreeSoftware\Qucs\, либо в одном из возможных источников в сети интернет, например, <https://soft.mydiv.net/win/download-Qucs.html>.

1 Лабораторная работа № 1.

ПРАКТИКА АППАРАТУРНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТЯХ

Целью работы «Практика аппаратурного анализа сигналов во временной и частотной области» является изучение основных временных и спектральных характеристик сигналов. В процессе выполнения работы студенты знакомятся с базовыми моделями сигналов и их основными характеристиками с помощью пакета схемотехнического моделирования QUCS.

Задачами лабораторного практикума являются:

приобретение практических навыков аппаратурного анализа сигналов:

изучение радиотехнических цепей и приобретение практических навыков измерения основных характеристик цепей;

изучение и практическое освоение экспериментальных методов анализа прохождения сигналов через радиотехнические цепи.

Краткие сведения из теории сигналов

Основными способами представления сигналов являются их описание во временной и частотной области.

Под временным описанием понимают задание сигнала с помощью функции времени $s(t)$, определяющей его мгновенные значения. Под временной характеристикой сигнала $s(t)$ понимают любую функцию, характеризующую развитие сигнала во времени, например, мгновенную мощность, взаимную энергию, корреляционную функцию и т.д. Основными параметрами могут быть длительность сигнала, период, длительность фронтов, амплитуда и т.д. Наиболее универсальным и удобным инструментом для наблюдения сигнала и определения временных параметров является осциллограф, на экране которого мы можем видеть картину развития сигнала во времени.

Под спектральным описанием детерминированного сигнала понимают задание его с помощью функции частоты $\dot{S}(\omega)$, называемой комплексной спектральной плотностью и определяющей все спектральные свойства сигнала. Между временным и спектральным представлениями сигнала существует взаимно однозначное соответствие, устанавливаемое парой преобразований Фурье

$$\dot{S}(\omega) = \Phi^+ [s(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (1.1)$$

$$s(t) = \Phi^- [\dot{S}(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega \quad (1.2)$$

Если сигналы во временной области описываются периодическими функциями с периодом, равным T :

$$s(t) = s(t + k \cdot T) \quad (1.3)$$

где k - число натурального ряда, то в спектральной области эти сигналы описываются рядами Фурье:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \dot{C}_n \dot{\phi}_n(t) \quad (1.4)$$

$$\text{где } \dot{C}_n = \int_{t_i}^{t_i+T} s(t) \dot{\phi}_n^*(t) dt \quad \Bigg/ \quad \int_{t_i}^{t_i+T} 2 \dot{\phi}_n(t) dt \quad (1.5)$$

$\{\dot{\phi}_n(t)\}$ - ортогональный базис (полная ортогональная система базисных функций).

Для сигналов в виде электромагнитных колебаний в радиотехнических цепях в качестве ортогонального базиса целесообразнее всего применять систему тригонометрических функций $\{\sin(n\omega_1 t), \cos(n\omega_1 t)\}$. Ряд Фурье при этом представляет собой совокупность гармонических колебаний с различными амплитудами A_n , начальными фазами φ_n и частотами $n\omega_1 = 2\pi n/T$, т.е.

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n) \quad (1.6)$$

При разложении периодического колебания $s(t)$ по экспоненциальным функциям $\exp(jn\omega_1 t)$ ряд Фурье в комплексной форме принимает вид

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \dot{C}_n e^{jn\omega_1 t} \quad (1.7)$$

где $\dot{C}_n = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) e^{-jn\omega_1 t} dt$ - коэффициент комплексного ряда Фурье.

Заметим, что используемый в программе QUCS математический аппарат спектрального анализа рассчитывает не амплитуды гармоник, а коэффициенты комплексного ряда Фурье.

Для исследования характеристик сигналов во временной области используют осциллографы. Для аппаратного анализа сигналов в спектральной области применяется анализаторы спектра, на экране которых можно наблюдать совокупность амплитуд гармонических колебаний, сдвинутых друг относительно друга пропорционально частоте $n\omega_1$.

Предварительная подготовка

Ознакомиться с характеристиками сигналов по материалам лекций и рекомендуемой в данном курсе литературы.

Рассчитать величину постоянной составляющей сигнала и амплитуды первых 5 гармоник периодической последовательности импульсов прямоугольной формы, длительность импульсов которых равна τ мкс с амплитудой, равной E В, и периодом повторения импульсов, равным T мкс. Параметры последовательности импульсов τ , E и T для соответствующего варианта представлены в таблице.

Таблица 1.1 – Варианты параметров сигналов

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ	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
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
τ	35	55	25	45	65	30	50	20	40	60
T	90	130	125	110	150	75	130	60	110	135
E	2	6	9	1	3	3	4	8	7	5

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 таким же сопротивлением.

Лабораторное задание

1. Средствами пакета QUCS собрать схему для исследования характеристик периодических сигналов в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.1. Амплитуду колебаний гармонического сигнала установить равной 1 В, частоту колебаний – 1 кГц
2. Выполнить моделирование схемы. Результаты моделирования представить в графической форме в декартовой системе координат. Проконтролировать амплитуду и частоту сигнала.
3. Исследовать спектральный состав сигнала.
4. Дополнить схему исследований вторым источником переменного напряжения V2 с параметрами, выбранными в соответствии с рисунком 1.11. Повторить исследования по п.п. 2...3.
5. Добавить в схему исследований дополнительные источники переменного напряжения с параметрами, выбранными в соответствии с рисунками 1.12, 1.13. Повторить исследования по п.5.
6. Для исследования характеристик импульсных сигналов собрать схему, приведенную на рисунке 1.15. Но амплитуду и длительность импульсов установить в соответствии с индивидуальным заданием (таблица 1). Напряжение между импульсами установить равным нулю. Продолжительность моделирования (параметр «Stop» компоненты «Моделирование переходного процесса») установить равным периоду повторения T (таблица 1).
7. Выполнить моделирование схемы. Результаты моделирования (временные и спектральные диаграммы) представить в графической форме в декартовой системе координат. Сравнить результаты расчета и эксперимента.
8. Определить ширину полосы АЧХ спектра сигнала по пороговому критерию.
9. У источника импульсного сигнала установить длительности переднего и заднего фронтов, равными половине длительности импульса. Повторить исследования по п.п.7, 8. Сравнить ширину полосы АЧХ спектра сигнала.
10. Источник импульсного сигнала поменять на источник гармонического колебания. Установить период гармонических колебаний, равным периоду импульсного сигнала. Повторить исследования по п.9.

Методические указания по выполнению лабораторного задания

Установить свободно распространяемый продукт QUCS на своем компьютере, используя приведенные выше ссылки, либо поисковые системы интернета.

Запустить программу QUCS. Ознакомиться с основными приемами работы в ней.

Первые шаги работы с QUCS изложены непосредственно в программе в разделе «Справка. Быстрый старт». Более подробная информация содержится в руководстве «Work book» и других технических документах и учебниках, размещенных во вкладке Справка программы QUCS.

А) Исследование временных характеристик сигналов

Для исследования временных характеристик сигналов собирается схема, приведенная на рисунке 1.1, состоящая из генератора V1 гармонических колебаний и нагрузочного резистора R1. Состояние нагрузки контролируется с помощью метки проводника Vuh. Временные и спектральные характеристики сигналов в дальнейшем будут вычисляться именно для этой точки цепи.

Компоненты схемы (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивностей...) выбираются в Главном прикрепляемом окне (слева от основной схемы) во вкладке «Компоненты» >> «Дискретные компоненты». Источники постоянного и переменного тока выбираются в разделе «Компоненты» >> «Источники», измерители – в разделе «Измерители». Режимы моде-

лирования задаются выбором соответствующих опций во вкладке «Компоненты» >> «Виды моделирования».

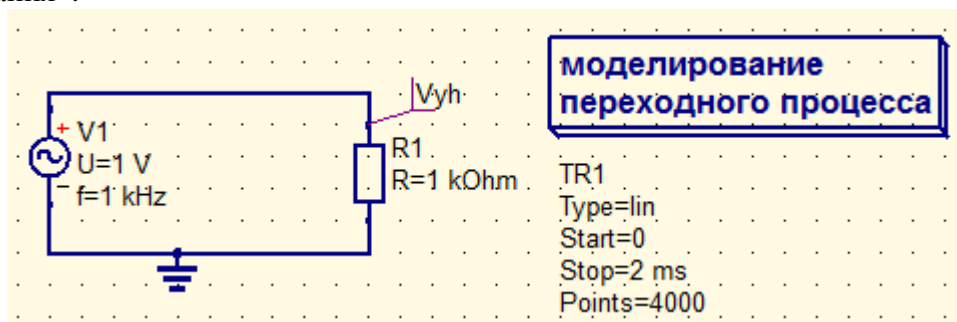


Рисунок 1.1 Схема для исследования временных характеристик сигнала генератора

Ряд компонентов устанавливается выбором через вкладку «Вставка»: проводник и метка проводника (Name), «земля», вывод..., либо соответствующей кнопкой на панели инструментов.

Для изменения параметров элемента или вида моделирования следует активировать его двойным кликом. Обратите внимание, что в данной программе в качестве разделителя целой и дробной частей используется точка. На вкладке свойств источника переменного напряжения для указанных на схеме параметров установить флажки «Показывать на схеме». Компонент программы «Моделирование переходного процесса» (параметры моделирования во временной области) при его активации принимает вид, приведенный на рисунке 1.2. В данном случае, можно изменить параметр и тип развертки, время и шаг моделирования.

По окончании построения схемы ее следует сохранить с уникальным именем и запустить на «Моделирование» (F2). Если при моделировании будут обнаружены ошибки, появятся соответствующие сообщения (просмотр сообщений – по клавише F5). Вернуться в режим «Моделирование» можно после устранения замечаний по ошибкам.

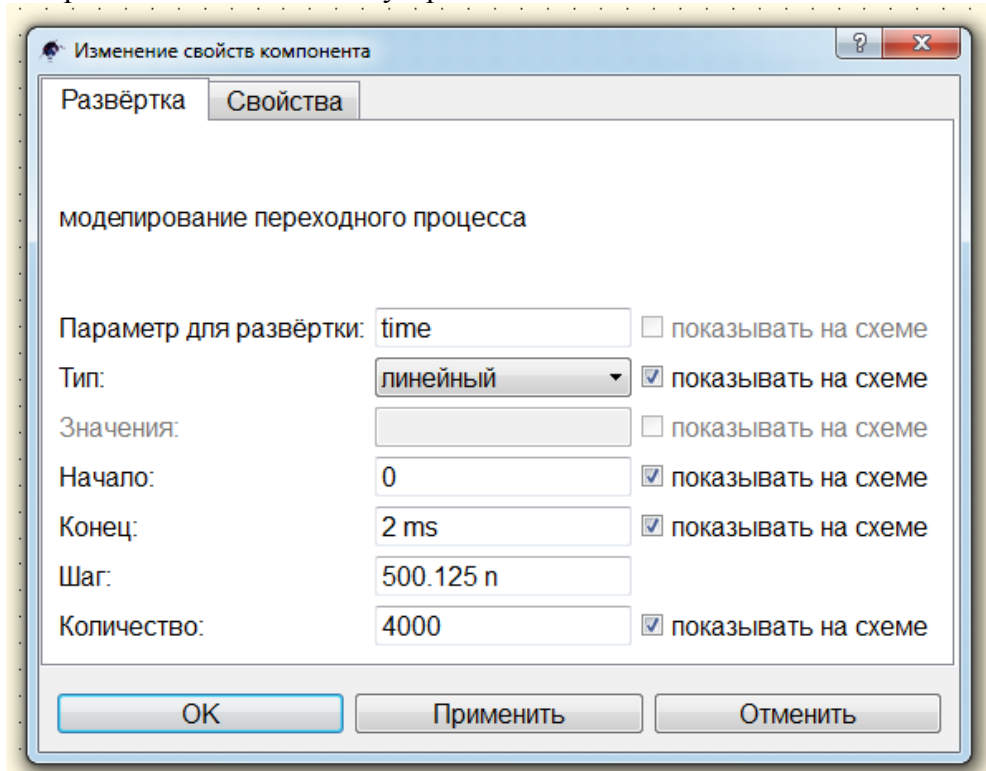


Рисунок 1.2 Выбор параметров моделирования

При отсутствии ошибок в проекте моделирование пройдет успешно, и в программе откроется новое окно. Следует вернуться в предыдущее окно и вывести результаты моделирования в виде таблиц либо графиков.

Для этого надо перетащить на основную схему необходимый вид графика или таблицы из раздела «Компоненты» >> «Диаграммы». После активации этого компонента откроется вкладка изменения параметров данного графика. Например, для «Декартовой диаграммы» вкладка изменения параметров принимает вид, приведенный на рисунке 1.3. На вкладке свойств диаграммы двойным кликом выбирается требуемая переменная, и в окне «Кривая» появляется соответствующая запись. Если больше не надо чертить других кривых, выбирается «Ок», и на основной схеме формируется график, подобный приведенному на рисунке 1.4 (в данном случае это будет зависимость напряжения на выводе “Vyh.Vt” от времени).

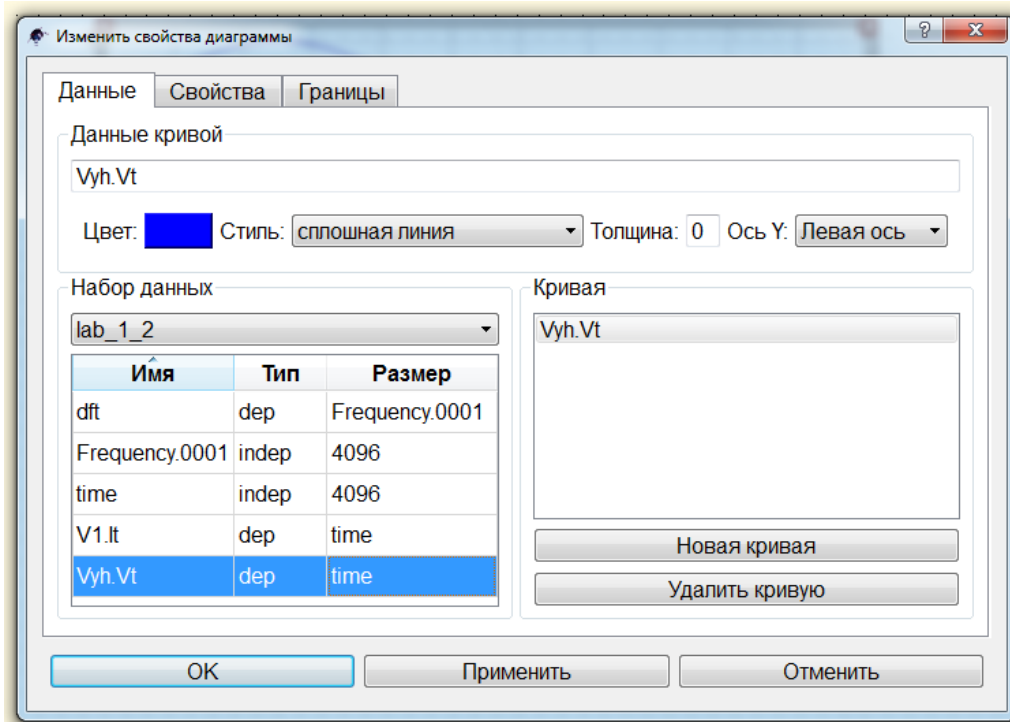


Рисунок 1.3 Окно изменения параметров вида диаграммы «Декартовая»

В) Измерение временных и амплитудных параметров

Для измерения временных и амплитудных параметров сигнала в пакете QUCS используют маркеры. Вставить маркер в любую точку диаграммы можно через вкладку «Вставка»>> «Установить маркер на диаграмме», либо кнопкой «Маркер (M1)» на панели инструментов. В поле маркера фиксируются два значения: момент времени и значение параметра в данный момент времени.

Так, на рисунке 1.4 маркеры установлены в точках перехода диаграммы через нулевой уровень и точках графика, достигающих экстремума. По значениям этих точек можно определить, например, амплитуду и период повторения сигнала (либо его частоту).

Сравнить параметры исходного сигнала, установленные на модели генератора, и результаты, полученные в ходе исследований. В случае их несоответствия провести повторные исследования.

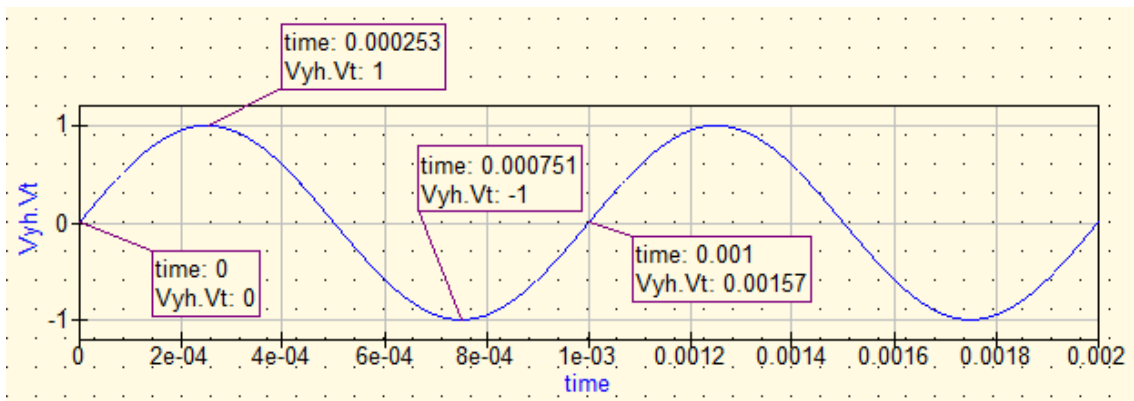


Рисунок 1.4 Маркеры на временной диаграмме сигнала

С) Исследование спектральных характеристик сигналов

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), размещенном в разделе «Справка» программы QUCS и продублировано в ЛВС кафедры TOP: S:\FreeSoftware\Qucs\Manual\.

Например, в данном случае в соответствии с рисунком 1.5 имя переменной dft выбрано произвольно, запись в поле значения “dft(Vyh.Vt)” означает вычисление дискретного преобразования Фурье для отсчетов напряжения во временной области на выводе схемы с именем “Vyh”.

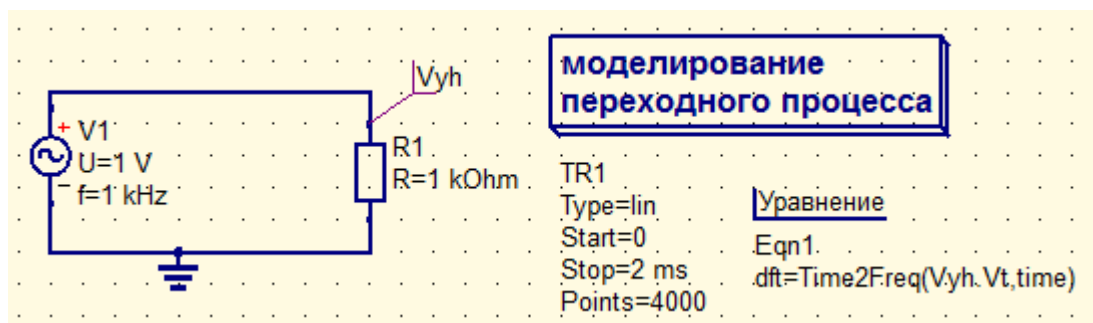


Рисунок 1.5 Схема для исследования спектральных характеристик

Свойства компонента «Уравнение» в этом случае принимает вид, приведенный на рисунке 1.6. В поле «Значение» указать требуемую функцию и ее основные параметры Time2Freq(Vyh.Vt,time).

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 графике двойным кликом вызвать окно изменения свойств диаграммы, в поле «Кривая» выделить переменную “dft”, а стиль графика с помощью выпадающего меню в соответствии с рисунком 1.7.установить в состояние «Стрелочки».

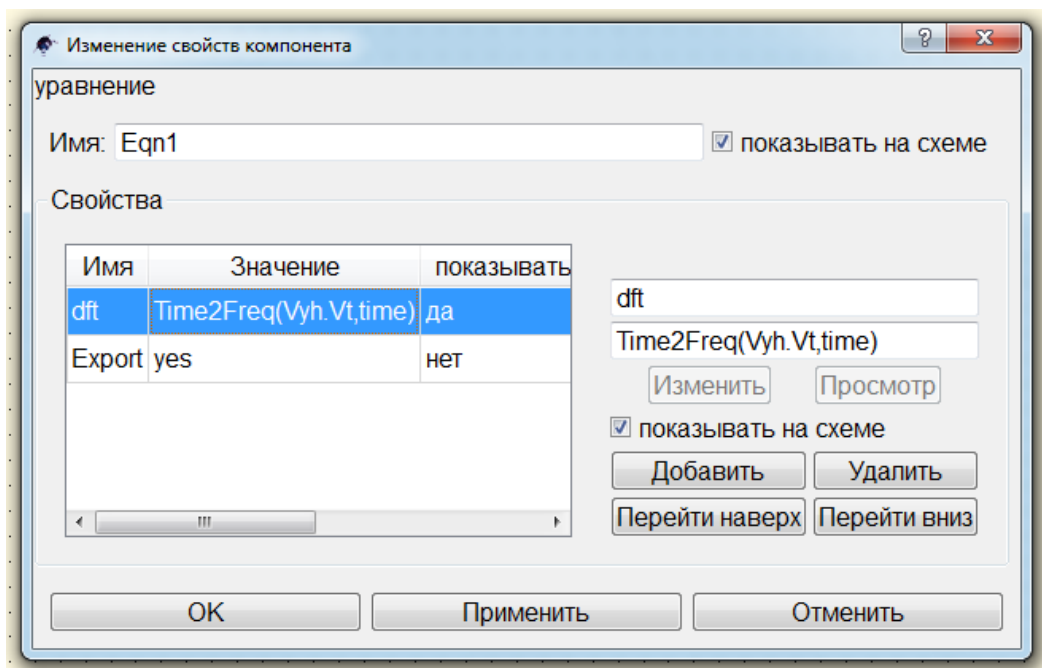


Рисунок 1.6 Окно изменения параметров компоненты «Уравнение»

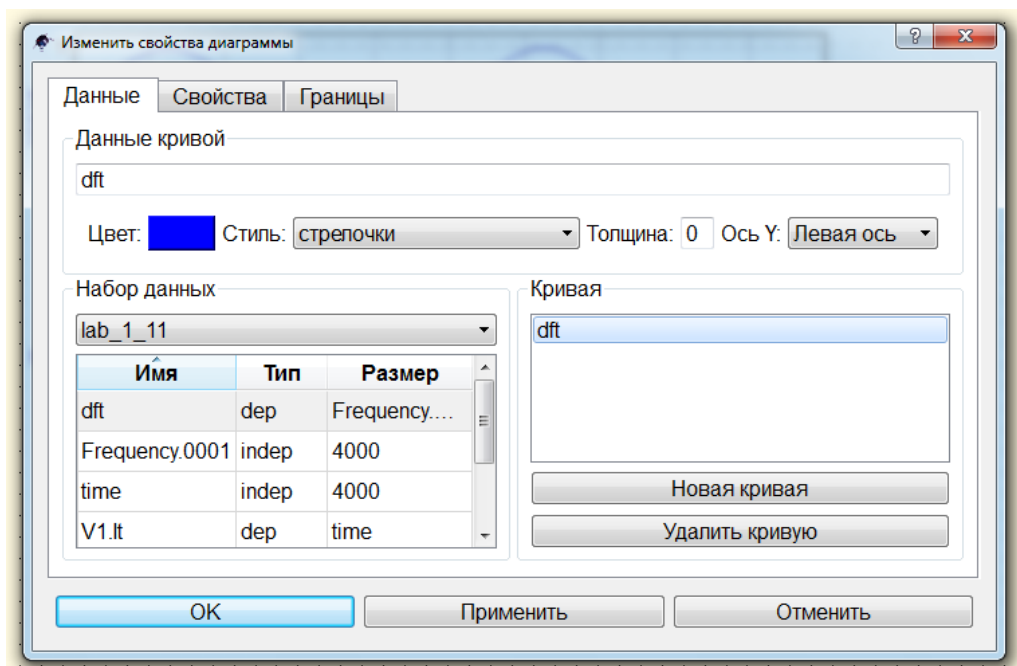


Рисунок 1.7 Окно изменения стиля графика спектра

Также следует вручную изменить границы графика спектра в соответствии с параметрами вкладки, приведенные на рисунке 1.8. По оси X вручную следует установить шаг сетки и конечное значение графика, предварительно отметив окно оси X «вручную».

На графиках пакета QUCS величина коэффициентов комплексного ряда Фурье соответствует не полной длине отрезка со стрелочкой, а точке, на которую указывает наконечник стрелочки. Поэтому начало отсчета по оси Y следует установить на 0, предварительно отметив окно левой оси Y «вручную» как указано на рисунке 1.8.

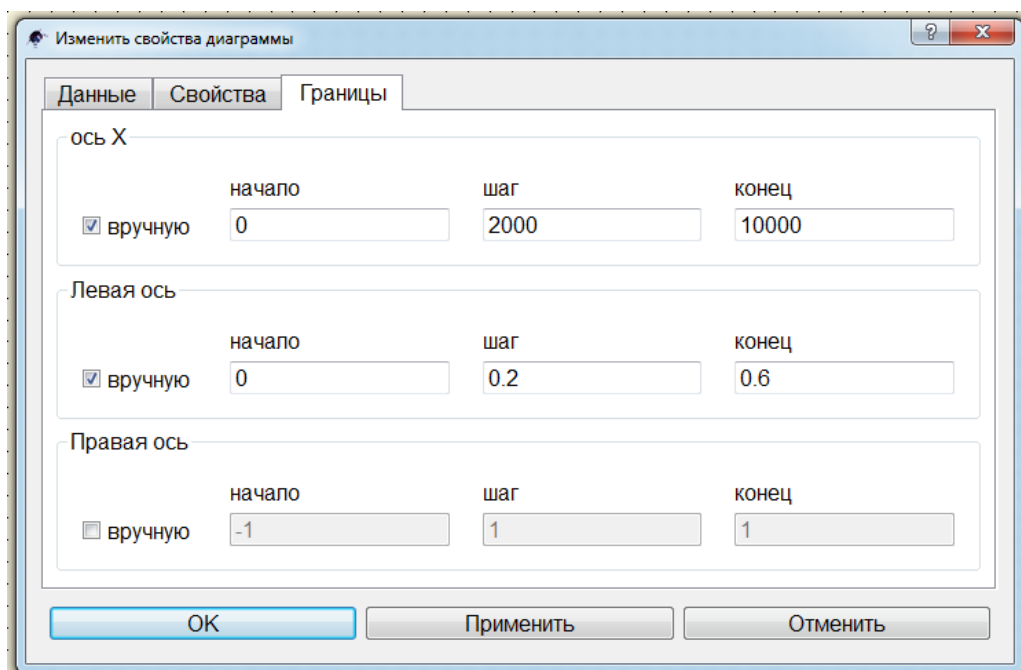


Рисунок 1.8 Окно изменения границ графика

В результате получим график **коэффициентов комплексного ряда Фурье** (1.7), представленный на рисунке 1.9. Положение наконечника стрелочки соответствует модулю комплексного коэффициента ряда Фурье \hat{c}_n для этой гармоники (величине, равной половине амплитуды гармонического колебания для ряда Фурье, представленного в тригонометрической форме).

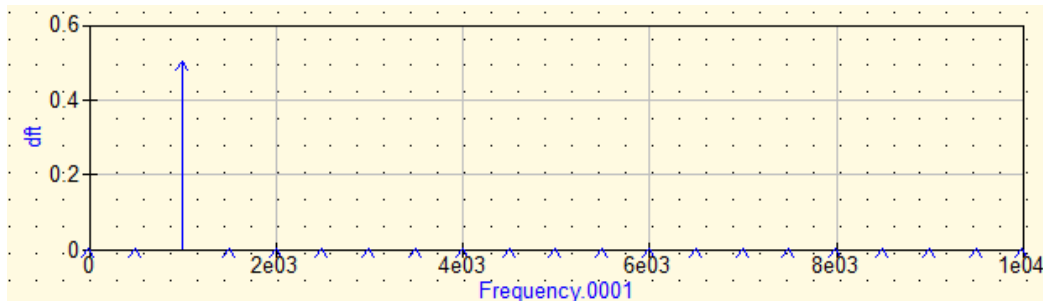


Рисунок 1.9 Спектральное представление гармонического колебания

Изменить параметры исследований в соответствии с рисунком 1.10 и выполнить моделирование.

На графиках спектра (рисунки 1.9 и 1.10) можно выделить только одну ненулевую составляющую ряда Фурье, что характерно именно для гармонических колебаний.

Объяснить изменение полученных результатов на графиках спектрального представления сигнала (рисунки 1.9 и 1.10).

В дальнейшем, при исследовании периодических сигналов устанавливать время моделирования равным (в крайнем случае, кратным) периоду анализируемого колебания (при расчете коэффициентов Фурье в данном случае под периодом сигнала понимается интервал времени, равный интервалу наблюдения сигнала).

С помощью маркеров, установленных в соответствующих точках графика, уточнить временные и амплитудные параметры колебания на графике спектрального представления сигнала.

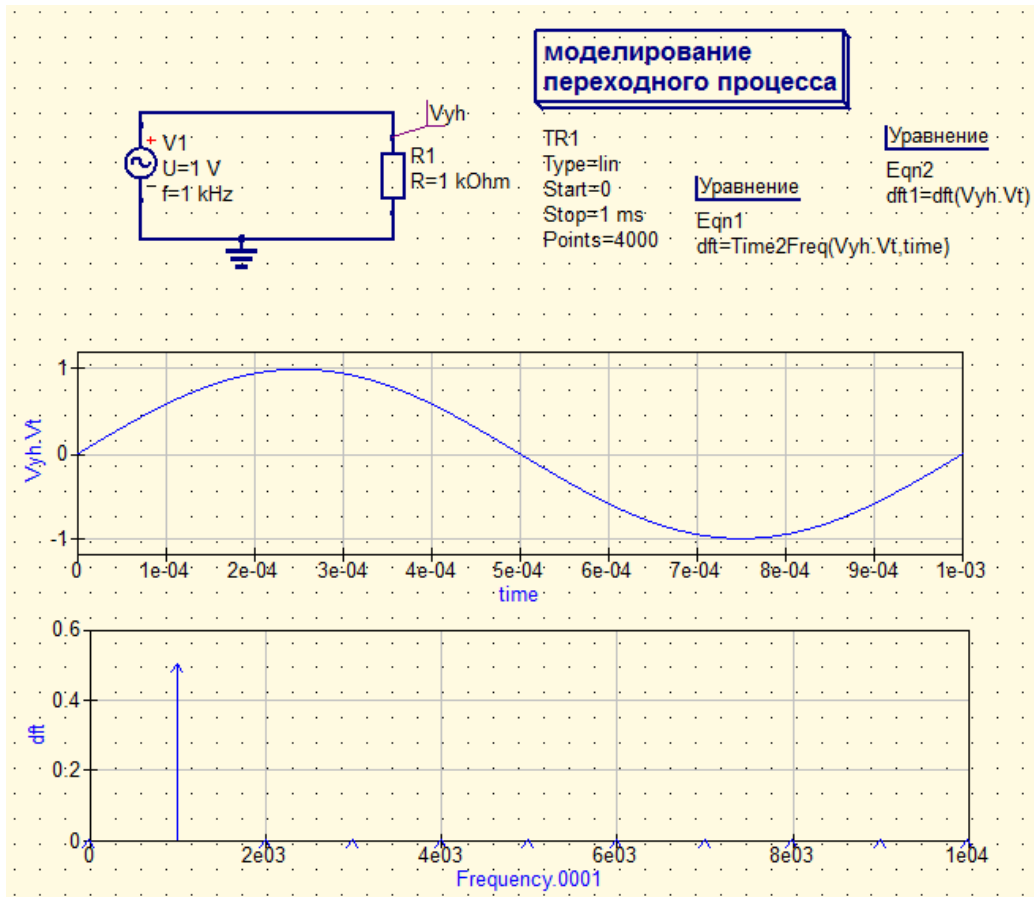


Рисунок 1.10 Параметры моделирования, временное и спектральное представление гармонического колебания

D) Исследование характеристик комбинированных сигналов

Дополнить схему для исследований источниками колебаний с параметрами, приведенными на рисунках.1.11, 1.12, 1.13 и повторить моделирование для каждого варианта.

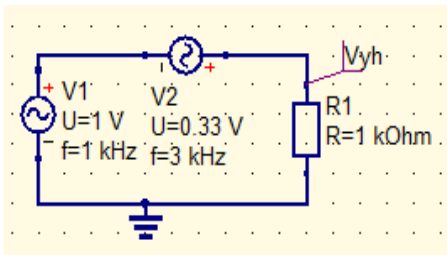


Рисунок 1.11 Схема для исследования суммы двух колебаний

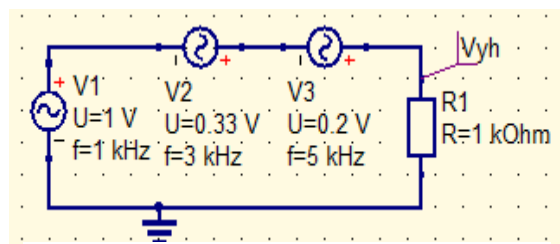


Рисунок 1.12 Схема для исследования суммы трех колебаний

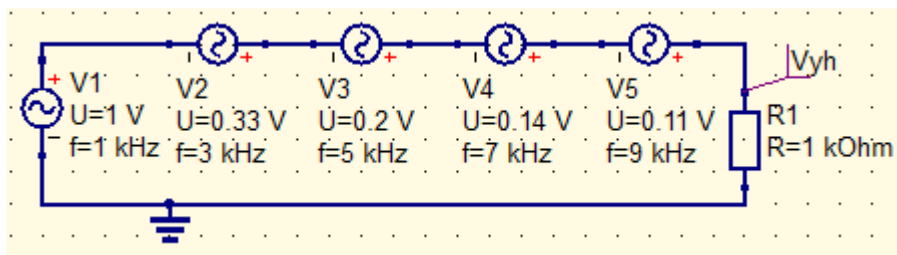


Рисунок 1.13 Схема для исследования суммы пяти колебаний

Временные и спектральные характеристики суммы пяти сигналов приведены на рисунке 1.14.

Сравнить параметры сигнала, рассчитанного при подготовке домашнего задания, и результатов, полученных в ходе исследований (с учетом перерасчета соответствующих параметров).

Спрогнозировать форму результирующего сигнала при дальнейшем увеличении количества колебаний.

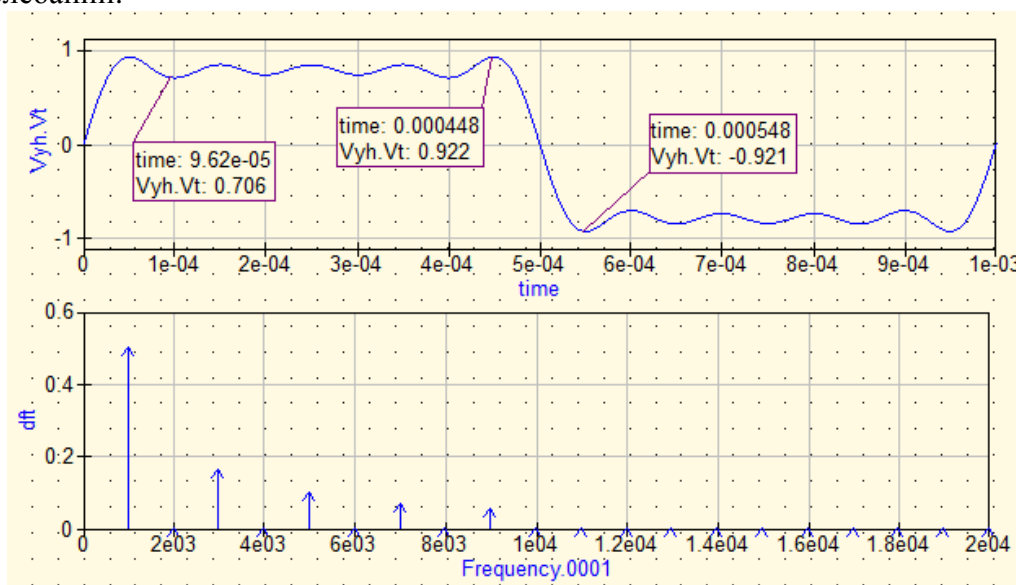


Рисунок 1.14 Временные и спектральные характеристики суммы пяти гармонических колебаний

Е) Исследование характеристик импульсных сигналов.

Собрать схему для исследования характеристик импульсных сигналов в соответствии с рисунком 1.15. Сохранить схему и выполнить моделирование. Результаты моделирования представить в графической форме в декартовой системе координат. Построить график спектрального состава сигнала.

Проверить соответствие амплитудных и временных параметров сигнала, задаваемых источником импульсов, и аналогичных параметров, определяемых на основании полученных графиков.

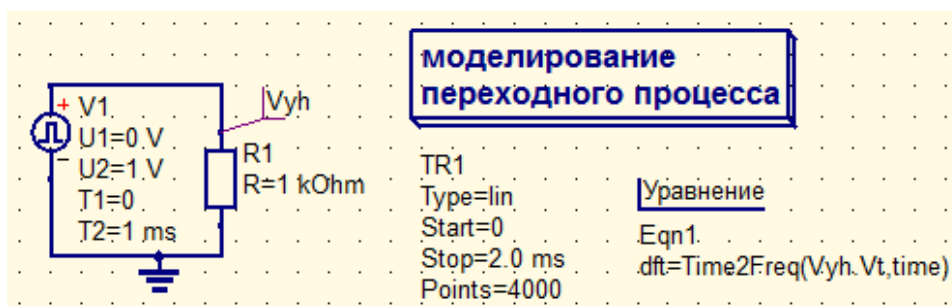


Рисунок 1.15 Схема для исследования параметров импульсных сигналов

Для более детального исследования отдельных участков временных характеристик переходят к ручной регулировке границ анализа. Например, для исследования длительности фронта или спада импульса на временной диаграмме следует двойным кликом вызвать окно свойств соответствующего графика. Во вкладке «Границы» вручную так установить границы графика, чтобы можно было наблюдать и измерить длительности фронтов (пример параметров приведен на рисунке 1.16).

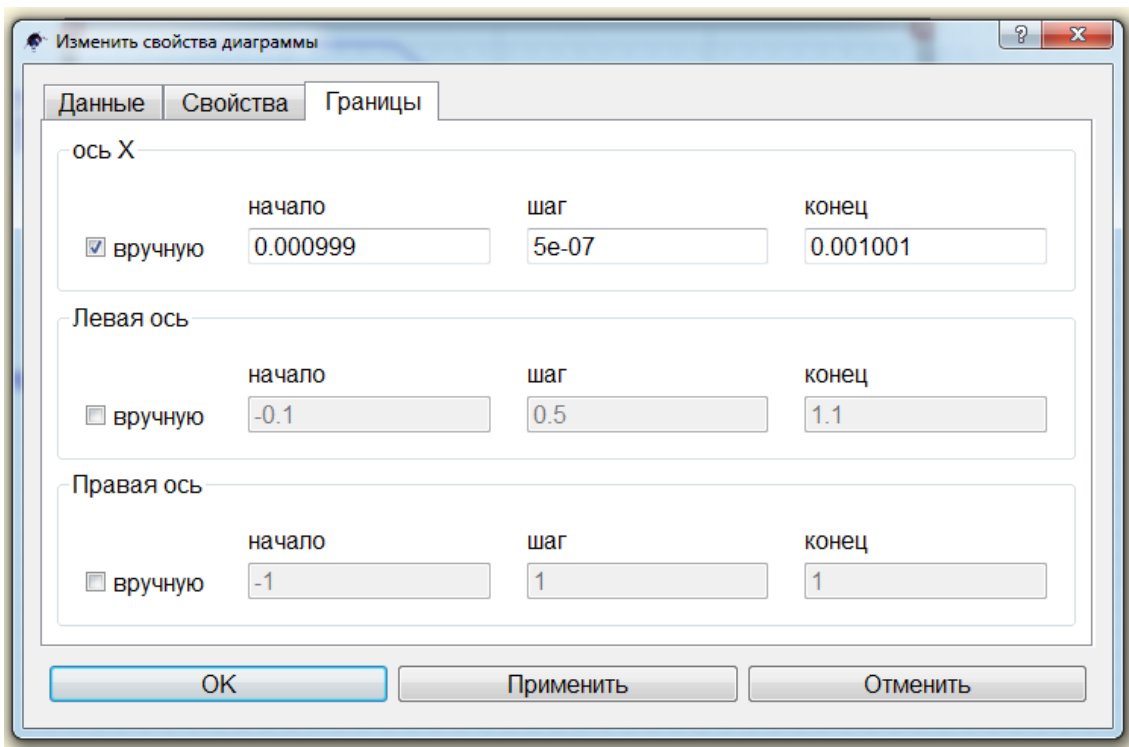


Рисунок 1.16 Пример границ графика для исследования фронтов импульса.

При таком масштабе анализа можно определить длительность фронта (например, рисунок 1.17).

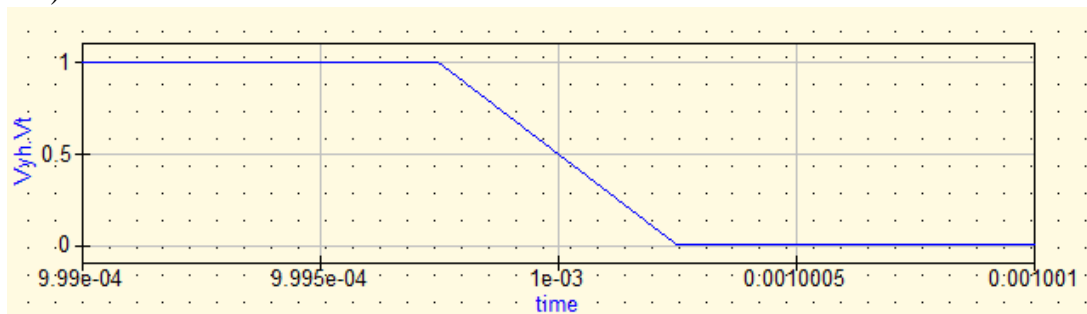


Рисунок 1.17 Временная диаграмма на участке среза импульса.

Повторить эти операции для переднего фронта импульса.

Сравнить длительности фронтов импульса с соответствующими параметрами источника сигнала.

Построить спектральную диаграмму импульсного сигнала (таким же образом, как и для гармонического сигнала). Для определения ширины спектра в качестве порога используем уровень, равный 10% от величины наибольшей гармоники. Для повышения точности измерений рекомендуется растянуть график АЧХ спектра по вертикали.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры сигнала могут быть измерены с помощью осциллографа?
2. Какая связь существует между временным и частотным представлением сигналов (если такая связь существует)?
3. Какие параметры сигнала могут быть измерены с помощью анализатора спектра?
4. Что представляет собой спектр периодического сигнала? Укажите основные признаки.
5. Из каких компонент состоит спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов?

6. В каких соотношениях между собой находятся спектр сигнала и частотная характеристика линии связи? Что происходит при нарушении этого соотношения?
7. Что такое оценка сигнала? Укажите основные параметры оценки сигнала.
8. Как связаны мощность сигнала и мощность оценки сигнала? Приведите количественные соотношения.
9. Что такое эффективная длительность сигнала? Как можно определить эффективную длительность сигнала?
10. Что такое пороговая длительность сигнала? Как можно определить пороговую длительность сигнала?
11. Что такое эффективная ширина спектра сигнала? Как можно определить эффективную ширину спектра сигнала?
12. Как с помощью маркеров на временной диаграмме можно определить частоту (амплитуду) гармонического колебания?
13. Как на графике АЧХ спектра определить ширину спектра сигнала по пороговому критерию?
14. Что такое прямое преобразование Фурье? Приведите необходимые пояснения.
15. Что такое прямое преобразование Фурье? Приведите необходимые пояснения.
16. Что понимается под ортогональной системой базисных функций? Дайте пояснения по каждому признаку.
17. Какая ортогональная система базисных функций называется полной? Укажите признаки полноты.
18. Какая система базисных функций называется ортонормированной? Укажите условия нормировки.

2 Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

Целью работы является изучение свойства спектров периодических сигналов. В ходе работы исследуется спектральный состав периодической последовательности униполярных и знакопеременных импульсов прямоугольной формы в зависимости от частоты следования и длительности импульса.

Краткие сведения из теории сигналов

Периодический сигнал $s(t)$ с периодом T может быть представлен рядом Фурье по системе ортогональных тригонометрических функций кратных аргументов:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_1 t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_1 t \quad (2.1)$$

или

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n e^{jn\omega_1 t} \quad (2.2)$$

где $\omega_1 = 2\pi/T = 2\pi f_1$ - частота первой гармоники;

$a_0/2$ - постоянная составляющая сигнала $s(t)$;

$$\frac{a_0}{2} = \dot{C}_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) dt \quad (2.3)$$

a_n, b_n - значения коэффициентов пропорциональности косинусоидальной и синусоидальной n -ых составляющих ряда Фурье;

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(n\omega_1 t) dt \quad (2.4)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin(n\omega_1 t) dt \quad (2.5)$$

A_n - амплитуда n -ой гармоники;

φ_n - начальная фаза n -ой гармоники.

Комплексные параметры спектра и коэффициенты при частотных составляющих связаны соотношениями

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} = 2 \cdot |\dot{C}_n|, \quad \varphi_n = -\arctg \frac{b_n}{a_n} = \arg \dot{C} \quad (2.6)$$

$$\dot{A}_n = A_n e^{-j\varphi_n} = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cdot e^{-jn\omega_1 t} dt = a_n - jb_n \quad (2.7)$$

Совокупность амплитуд $\{A_n\}$, фаз $\{\varphi_n\}$ и частот $\{n\omega_1\}$ гармонических составляющих называют соответственно спектром амплитуд, спектром фаз и спектром частот. Графическое изображение спектров, в котором по оси ординат откладываются амплитуды (или начальные

фазы) гармонических колебаний, а по оси абсцисс – частоты, называется спектральной диаграммой амплитуд (фаз).

Сигнал может быть восстановлен по спектру, при ограниченном числе членов ряда формируется $s_N(t)$ - оценка сигнала $s(t)$

$$s_N(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n) \quad (2.8)$$

Относительное значение мощности погрешности представления сигнала $s(t)$ оценкой $s_N(t)$ определяется по формуле

$$\delta = \frac{P - P_N}{P} \quad (2.9)$$

где P и P_N - мощности, соответственно, сигнала $s(t)$ и оценки $s_N(t)$

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} s^2(t) dt \quad (2.10)$$

$$P_N = \sum_{n=-N}^N |\dot{C}_n|^2 = \left(\frac{a_0}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N A_n^2 = \left(\frac{a_0}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (a_n^2 + b_n^2) \quad (2.11)$$

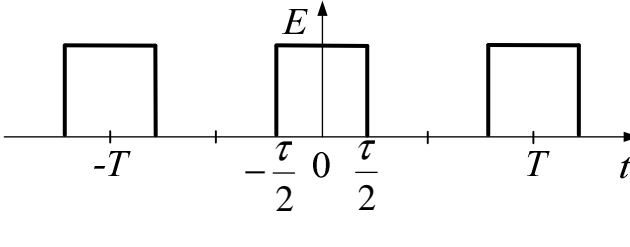
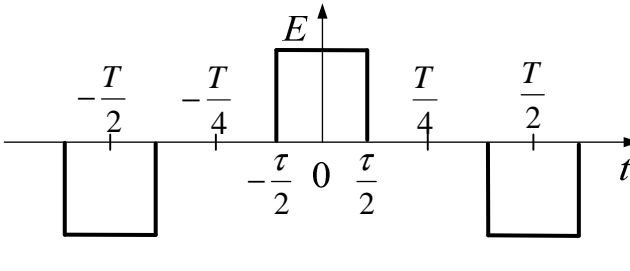
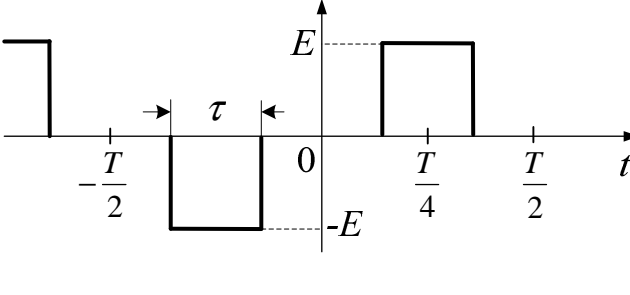
В таблице 2.1 показаны периодические последовательности униполярных и знакопеременных импульсов прямоугольной формы с амплитудой E , длительностью τ и частотой следования f_1 . Здесь же представлены формулы для расчета коэффициентов косинусоидальной и синусоидальной составляющих ряда Фурье.

В таблице 2.2 описаны временные свойства сигналов и заданы параметры периодических последовательностей униполярных и знакопеременных импульсов прямоугольной формы для конкретной подгруппы .

Все варианты работы разбиты на подгруппы. Каждый студент выполняет вариант исследований с униполярной последовательностью импульсов (общий в подгруппе) и вариант с последовательностью импульсов разной полярности (индивидуальный вариант). Индивидуальный вариант определяется по номеру студента в списке группы

Обратите внимание: интервал времени между соседними импульсами разной полярности равен периоду повторения униполярных импульсов.

Таблица 2.1 – Значения коэффициентов a_n и b_n тригонометрического ряда Фурье

График сигнала $s(t)$	Временные свойства $s(t)$	Формулы для расчета a_n и b_n	Размах импульса E, B
	$s(t) = s(-t)$	$a_n = \frac{2E}{n\pi} \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$ $b_n = 0$	8,0
	$s(t) = s(-t)$ $s(T/4+t) = -s(T/4-t)$	$a_n = \frac{4E}{n\pi} \cdot \sin^2\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$ $b_n = 0$	3,2
	$s(t) = -s(-t)$ $s(T/4+t) = s(T/4-t)$	$a_n = 0$ $b_n = \frac{4E}{n\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$	3,2

Примечания: 1. В таблице указана частота следования однополярных импульсов. Частота следования импульсов разной полярности – в 2 раза меньше.

Таблица 2.2 – Параметры периодической последовательности импульсов прямоугольной формы

Номер подгруппы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11																									
Частота следования однополярных импульсов, кГц	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6																									
Длительность импульса положительной полярности τ , мкс	250	125	62,5	31,25	15,625	484,375	468,75	437,5	375	15,625	15,625																									
номер студента в списке группы	1, 2	1	2	3, 4	3	4	5, 6	5	6	7, 8	7	8	9, 10	9	10	11, 12	11	12	13, 14	13	14	15, 16	15	16	17, 18	17	18	19, 20	19	20	21, 22	21	22			
Шифр студента	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43	51	52	53	61	62	63	71	72	73	81	82	83	91	92	93	101	102	103	111	112	113			
Временные свойства сигналов	$s(t) = s(-t)$	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+	
	$s(t) = -s(-t)$			+			+			+		+				+			+			+		+			+			+			+		+	
	$s(T/4+t) = s(T/4-t)$			+			+			+		+				+			+			+		+			+			+			+		+	
	$s(T/4+t) = -s(T/4-t)$		+				+			+		+				+			+			+		+			+			+			+		+	

Предварительная подготовка

Предварительная подготовка заключается в следующем:

- проработать лекционный материал и рекомендованную литературу по теме: «Спектральный анализ периодических сигналов»;
- изучить временные свойства сигналов, представленных в таблице 2.1;
- дать временное представление сигнала на периоде по заданным в таблице 2.2 для Вашего индивидуального варианта значениям частоты следования импульсов прямоугольной формы, длительности импульса, положительной полярности и временным свойствам;
- рассчитать и построить спектр амплитуд и спектр фаз заданного сигнала (не менее 5 составляющих), произвести качественный анализ полученных спектров, сравнить временное и спектральное представление;
- построить оценку сигнала из трех гармонических колебаний с максимальными амплитудами, частотами, кратными частоте исследуемого сигнала и соответствующими начальными фазами;
- рассчитать погрешность представления сигнала оценкой из трех гармонических колебаний.

Лабораторное задание

1. Средствами пакета QUCS собрать схему для исследования характеристик периодических сигналов в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.1. Параметры элементов схемы установить в соответствии общим вариантом данной подгруппы.

2. Выполнить моделирование схемы. Результаты моделирования во временной области представить в графической форме в декартовой системе координат. Измерить временные и амплитудные параметры сформированного сигнала и убедиться, что они соответствуют параметрам задания.

3. Исследовать спектральный состав сигнала.

4. Дополнить схему исследований вторым источником импульсного сигнала V2 с параметрами, выбранными в соответствии с индивидуальным вариантом в подгруппе. Повторить исследования по п.п. 2...3.

5. Исследовать изменения в спектре амплитуд при изменении длительности импульсов периодической последовательности с постоянным периодом повторения. Длительность импульсов уменьшить в 2 раза по сравнению с исходной. Повторить исследования по п.п. 2...3. Длительность импульсов уменьшить еще в 2 раза. Повторить исследования по п.п. 2...3.

6. Исследовать изменения в спектре амплитуд при изменении периода повторения последовательности импульсов с постоянной длительностью. Период повторения последовательности импульсов увеличить в 2 раза по сравнению с исходным. Повторить исследования по п.п. 2...3. Период повторения импульсов увеличить еще в 2 раза. Повторить исследования по п.п. 2...3.

7. Сравнить характеристики расчетных и экспериментальных данных. В случае их расхождения выявить причины и дать пояснения.

Методические указания по выполнению лабораторного задания

А) Исследование униполярной последовательности импульсов

Основные приемы работы с пакетом QUCS приведены в описании лабораторной работы №1.

Для исследования униполярной последовательности импульсов собирается схема, приведенная на рисунке 2.1. Параметры импульса (U, TH, TL) источника импульсного напряжения V1 установить в соответствии с вариантом задания. Параметр «Stop» компоненты «Моделирование переходных процессов» установить равным двум периодам повторения

импульсов в соответствии с вариантом задания. После сохранения схемы в своем каталоге выполнить моделирование ее функционирования.



Рисунок 2.1 Схема для исследования униполярной последовательности импульсов

При успешном моделировании следует вернуться в предыдущее окно и вывести результаты моделирования во временной и спектральной областях в виде графиков. Примерный вид графиков временной диаграммы сигнала и АЧХ его спектра приведен на рис. 2.2.

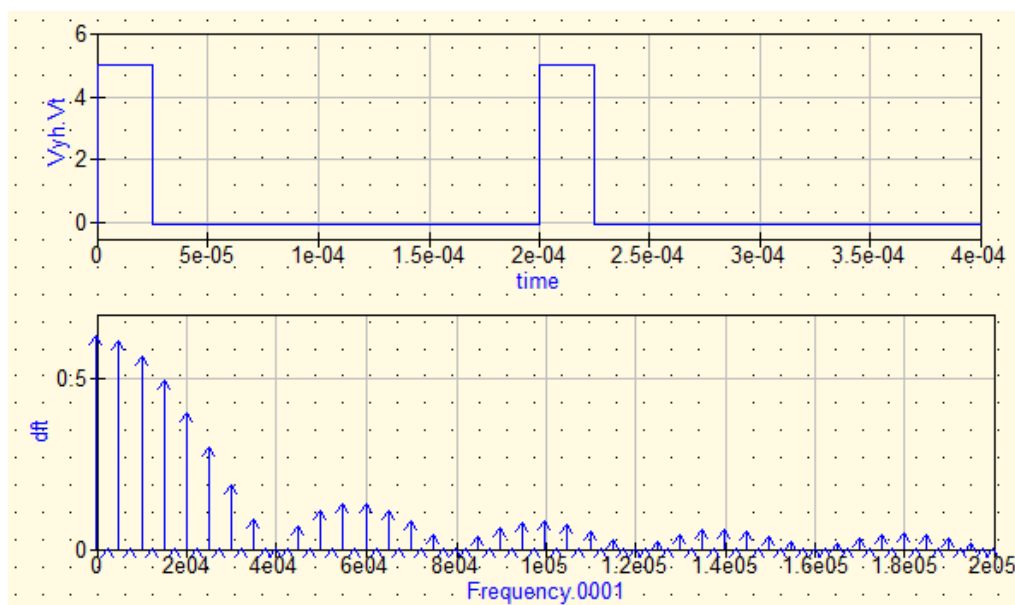


Рисунок 2.2 Временная (а) и спектральная (б) характеристики последовательности однополярных прямоугольных импульсов

Для ограничения диапазона просмотра спектральной характеристики следует двойным кликом на графике спектра вызвать окно «Изменение свойств диаграммы». На вкладке «Границы» (рисунок 2.3) установить флажок «вручную» для оси X и ввести параметры «конец» и «шаг».

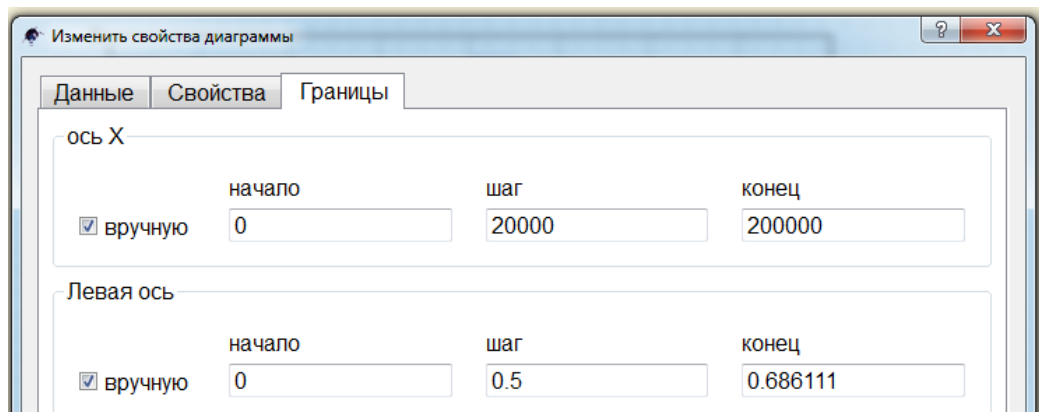


Рисунок 2.3 Окно изменения границ графика АЧХ спектра

Параметр «конец» выбрать равным порядка $(40...50)/T$ (где T – период повторения импульсов). Параметр «шаг» выбрать в $5...10$ раз меньше периода повторения импульсов. Установить флажок «вручную» для левой оси Y и ввести 0 в окно «начало».

В) Исследование последовательности импульсов разной полярности

Для исследования последовательности импульсов разной полярности собирается схема, приведенная на рисунке 2.4. Параметры импульса (амплитуда U и длительность $TН$ импульса) источника импульсного напряжения $V1$ сохранить прежними. Длительность паузы $TЛ$ между импульсами увеличить на величину, равную длительности периода однополярной последовательности импульсов.

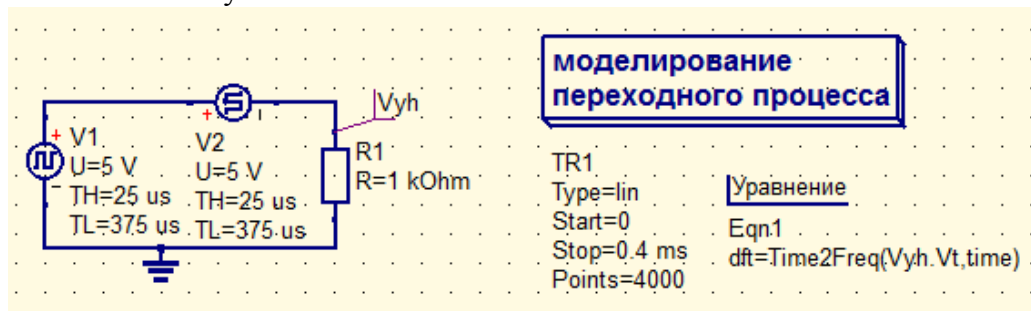


Рисунок 2.4 Схема для исследования последовательности импульсов разной полярности

Параметры импульса (U , $TН$, $TЛ$) источника импульсного напряжения $V2$ установить такими же, как и для источника $V1$ (рисунок 2.5).. Параметр «Время начальной задержки» Td источника импульсного напряжения $V2$ установить равным длительности периода однополярной последовательности импульсов.

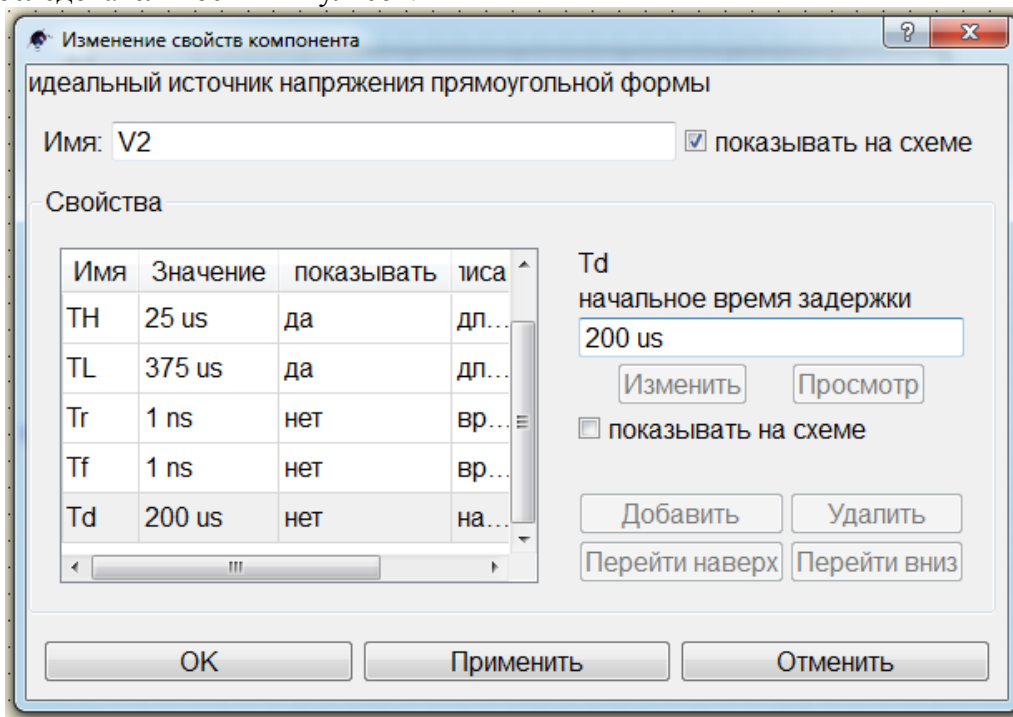


Рисунок 2.5 Окно изменения параметров источника прямоугольных сигналов

После сохранения схемы в своем каталоге выполнить моделирование ее функционирования. Примерный вид графиков временной диаграммы сигнала и АЧХ его спектра приведен на рис. 2.6.

На временной диаграмме следует контролировать параметры симметричного расположения положительных и отрицательных импульсов периодической последовательности в соответствии с условиями таблицы 2.2.

Для исследования изменений в спектре амплитуд при изменении длительности импульсов периодической последовательности с постоянным периодом повторения следует параметр ТН источников импульсных сигналов уменьшить в 2 раза по сравнению с исходным. Для сохранения постоянной величины длительности периода параметр ТL увеличить на величину, равную уменьшению параметра ТН.

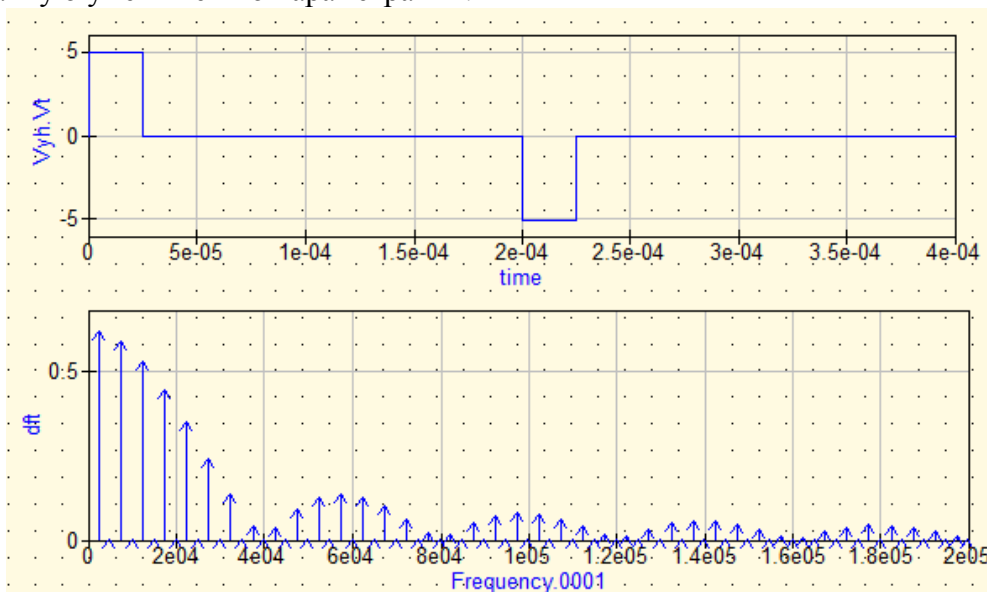


Рисунок 2.6 Временная (а) и спектральная (б) характеристики последовательности импульсов разной полярности

С) Исследование спектра амплитуд при изменении длительности импульсов периодической последовательности с постоянным периодом повторения

По результатам моделирования построить графики временных и частотных характеристик. При необходимости провести коррекцию интервала наблюдения.

Д) Исследование спектра амплитуд при изменении периода повторения последовательности импульсов с постоянной длительностью импульсов

Для исследования изменений в спектре амплитуд при изменении периода повторения периодической последовательности с постоянной длительностью импульсов параметр ТН источников сигналов сохранять неизменным. Параметр ТL источников изменить таким образом, чтобы период повторения импульсной последовательности увеличился в два раза по сравнению с предыдущим значением. Параметр «Stop» компоненты «Моделирование переходных процессов» также увеличить в 2 раза по сравнению с предыдущим испытанием.

По результатам моделирования построить графики временных и частотных характеристик. При необходимости провести коррекцию интервала наблюдения.

Контрольные вопросы

Поясните:

- 1) какими свойствами обладают спектры периодических сигналов;
- 2) как влияет изменение длительности импульса и периода повторения на спектр периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов;
- 3) как отразится на спектре периодического сигнала изменение положения начала отсчета времени;
- 4) как изменится спектр периодического сигнала, если период повторения устремить в бесконечность;
- 5) какая связь существует между сплошным спектром непериодического сигнала и линейчатым спектром соответствующего периодического сигнала;
- 6) как связаны между собой длительности импульса и ширина спектра.

Постройте и сравните:

- 1) спектры периодической последовательности униполярных импульсов и периодической последовательности знакопеременных импульсов;
- 2) спектры периодической последовательности видеоимпульсов и пачки из нескольких этих же видеоимпульсов.

Запишите выражение для спектральной плотности периодического сигнала.

3 Лабораторная работа № 3

ПРОХОЖДЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Целью работы является получение студентом практических навыков:

анализа прохождения периодических сигналов через линейные цепи на основе спектрального и временного методов;

сравнения спектрального состава сигналов на входе и выходе простейших линейных цепей;

исследования искажений, возникающих при прохождении импульсов прямоугольной формы через простейшие фильтры верхних частот, нижних частот, полосовые фильтры.

Краткие сведения из теории сигналов цепей

Основная задача теории сигналов и линейных цепей заключается в определении сигнала на выходе известной линейной цепи при заданном воздействии. Замечательная особенность линейных систем, состоящая в справедливости принципа суперпозиции, открывает прямой путь к анализу задач о прохождении сигналов путем разложения этих сигналов на элементарные составляющие.

При решении задачи в спектральной области воздействие представляется в виде суммы гармонических колебаний, каждое из которых проходит через линейную цепь независимо от других. Отклик определяется как сумма видоизмененных гармонических колебаний, прошедших через цепь.

При периодическом воздействии в основе спектрального метода лежит аппарат рядов Фурье. Решение задачи включает три этапа:

1) представление сигнала $s(t)$ суммой гармонических колебаний

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n); \quad (3.1)$$

2) определение комплексной передаточной функции цепи и вычисление значений комплексного коэффициента передачи цепи для каждой из гармонических составляющих воздействия.

$$\dot{K}(\omega) = \dot{K}(n\omega_1) = |K(n\omega_1)| \cdot e^{j\varphi(n\omega_1)}, \quad (3.2)$$

где $n = \omega/\omega_1$ - нормированная частота;

$|K(n\omega_1)|$ - амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) цепи;

$\varphi(n\omega_1)$ - фазочастотная характеристика (ФЧХ) цепи;

3) представление отклика $s_{\text{вых}}(t)$ в виде суммы видоизмененных гармонических колебаний, прошедших через цепь

$$s_{\text{вых}}(t) = \frac{a_0}{2} K(0) + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot |\dot{K}(n\omega_1)| \cdot \cos[n\omega_1 t + \varphi_n + \varphi(n\omega_1)]. \quad (3.3)$$

Недостатком описанного решения является то, что отклик представлен бесконечной суммой гармонических колебаний и, следовательно, отсутствует прямой ответ на вопрос об искажении формы сигнала.

Аналогично изложенной процедуре решения задачи строится исследование прохождения периодического сигнала через линейные цепи в настоящей лабораторной работе. С помощью анализатора спектра на основе преобразований Фурье определяются спектры воздействия и отклика, а также измеряются АЧХ исследуемых линейных цепей.

При решении задачи прохождения сигнала через линейные цепи методами временно-интегрирования в качестве элементарных составляющих для представления воздействия используются единичные скачки $\sigma(t-\tau)$ и дельта-функции $\delta(t-\tau)$. С помощью названных испытательных сигналов интегральное (динамическое) представление сигнала воздействия $s(t)$ имеет вид:

$$s(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot \sigma'(t - \tau) d\tau. \quad (3.4)$$

$$s(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot \delta(t - \tau) d\tau. \quad (3.5)$$

Отклик цепи с нулевыми начальными условиями на воздействие единичного скачка $\sigma(t)$ численно совпадает с переходной характеристикой цепи $h(t)$.

Отклик цепи с нулевыми начальными условиями на воздействие дельта-функции $\delta(t)$ численно совпадает с импульсной характеристикой цепи $g(t)$.

В силу линейности цепи ее отклик на произвольное воздействие, заданное в виде (3.4) и (3.5), определяется следующим образом:

$$s_{\text{ВЫХ}}(t) = \int_0^t s'(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau. \quad (3.6)$$

$$s_{\text{ВЫХ}}(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot g(t - \tau) d\tau. \quad (3.7)$$

Формулы (3.6) и (3.7) можно трактовать, как предел суммы переходных (или импульсных) характеристик, взятых с весовыми коэффициентами, соответствующими скорости изменения сигнала воздействия (или значениям сигнала воздействия) в моменты времени: t . Отклик цепи на воздействие последовательности прямоугольных импульсов определяется на основе (3.6) как

$$s_{\text{ВЫХ}}(t) = \sum_{n=1}^N \Delta s(t_k) \cdot h(t - t_k) \quad (3.8)$$

где $\Delta s(t_k)$ - приращение сигнала в точке разрыва t_k ,

N - число разрывов.

Краткая сводка обозначений и расчетных соотношений, используемых в работе, приведена в таблице 3.1.

Для проверки правильности проведённых расчетов следует использовать предельные соотношения, связывающие частотные и временные характеристики линейных цепей.

$$\left. \begin{aligned} \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot H(p) &= \lim_{p \rightarrow 0} K(p) = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t) \\ \lim_{p \rightarrow \infty} p \cdot H(p) &= \lim_{p \rightarrow \infty} K(p) = \lim_{t \rightarrow 0} h(t) \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Таблица 3.1 – Испытательные сигналы и временные характеристики ЛЭЦ (изображения и оригиналы)

Название	Изображение по Лапласу	Оригинал
δ – функция	$L[\delta(t)] = 1$	$\delta(t) = L^{-1}[1]$
Единичный скачок	$L[\sigma(t)] = 1/p$	$\sigma(t) = L^{-1}\left[1/p\right]$
Импульсная характеристика	$L^+[g(t)] = K(p)$	$g(t) = L^{-1}[K(p)]$
Переходная характеристика	$L^+[h(t)] = K(p)/p$	$h(t) = L^{-1}\left[K(p)/p\right]$

На рисунке 3.1 изображена схема цепи, варианты которой исследуются в лабораторной работе.

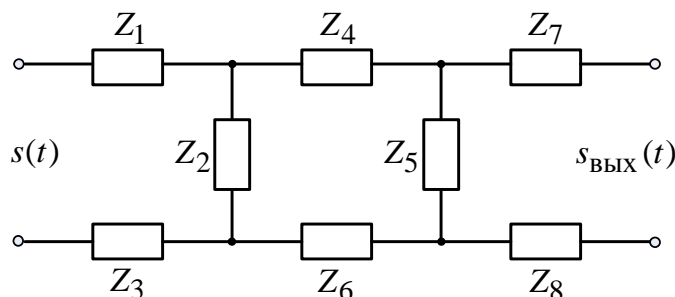


Рисунок 3.1 – Обобщенная схема электрической цепи

Передаточная функция этой цепи определяется следующими выражениями

$$K(p) = \frac{S_{\text{вых}}(p)}{S(p)} \quad (3.10)$$

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{S}_{\text{вых}}(\omega)}{\dot{S}(\omega)} \quad (3.11)$$

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}} \quad (3.12)$$

$$\check{K}(\omega) = K(p) \text{ при } p = j\omega,$$

где $S_{\text{вых}}(p)$, $S(p)$ - изображения по Лапласу сигналов, соответственно, на выходе и входе линейной цепи;

$\dot{S}_{\text{вых}}(\omega)$, $\dot{S}(\omega)$ - спектральная плотность сигналов, соответственно, на выходе и входе линейной цепи;

$\dot{U}_{\text{вых}}$, \dot{U} - комплексные амплитуды гармонического сигнала, соответственно, на выходе и входе линейной цепи.

Применяя любой из методов расчета линейной электрической цепи, получим (в режиме холостого хода).

$$K(p) = \frac{Z_2 \cdot Z_5}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)(Z_4 + Z_5 + Z_6) + Z_2(Z_1 + Z_3)} \quad (3.13)$$

где Z - комплексное сопротивление двухполюсника.

В таблице 3.2 приведены основные соотношения для базовых фрагментов линейных электрических цепей.

Таблица 3.2 – Базовые линейные электрические цепи

Название цепи	Интегрирующая цепь	Дифференцирующая цепь
Электрическая схема		
Коэффициент передачи	$K_{\text{И}}(p) = \frac{1}{p\tau + 1}$	$K_{\text{Д}}(p) = \frac{p\tau}{p\tau + 1}$
Комплексный коэффициент передачи	$K_{\text{И}}(p) = \frac{1}{j2\pi f\tau + 1}$	$K_{\text{Д}}(p) = \frac{j2\pi f\tau}{j2\pi f\tau + 1}$
Обозначения	$\tau = RC$ $2\pi f = \omega$	$\tau = RC$ $2\pi f = \omega$

Предварительная подготовка

Предварительная подготовка заключается в следующем:

- проработать лекционный материал и рекомендованную литературу по теме "Прохождение детерминированных сигналов через линейные цепи", изучить методы анализа;
- рассчитать и построить частотные (АЧХ и ФЧХ) и временные характеристики интегрирующей и дифференцирующей цепей (см. табл.3.2 примечание) полагая, что постоянные времени интегрирующей $\tau_{инц}$ и дифференцирующей $\tau_{дц}$ цепей связаны с длительностью импульса $\tau_{и}$ (см. свой вариант сигнала в табл. 2.2) соотношением

$$\tau_{инц} = \tau_{дц} = RC = \tau$$

$$\tau = \frac{\tau_u}{\ln 10} \approx \frac{\tau_u}{2,31}$$

- рассчитать и построить спектры амплитуд и фаз на выходе цепей, совместить с учетом масштаба спектры входного и выходного сигналов на одной spectroграмме;
- дать временное представление сигнала на выходе линейной цепи, изобразить на одном графике сигналы на входе и выходе цепей.

Лабораторное задание

1. Средствами пакета QUCS собрать схему для исследования переходной характеристики интегрирующей цепи в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3.1. Параметры элементов схемы установить в соответствии общим вариантом данной подгруппы.
2. Выполнить моделирование и построить переходную характеристику цепи. Определить длительность переходного процесса.
3. Повторить п.2 для цепи, в которой номинал емкости C увеличен: а) в 3 раза; б) в 10раз.
4. Повторить операции по п.п. 1...3 для исследования переходной характеристики дифференцирующей цепи в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3.3.
5. Повторить операции по п.п. 1...3 для исследования импульсной характеристики интегрирующей цепи в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3.5.
6. Повторить операции по п.п. 1...3 для исследования импульсной характеристики дифференцирующей цепи в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3.7.
7. Снять Амплитудно-частотные характеристики всех рассмотренных вариантов цепей.
8. Собрать схему для исследования каскада из двух последовательно соединенных звеньев: а) двух интегрирующих; б) двух дифференцирующих; в) интегрирующего и дифференцирующего (только для базового значения емкости C). Снять временные и частотные характеристики этих каскадов.
9. Сравнить характеристики расчетных и экспериментальных данных. В случае их расхождения выявить причины и дать пояснения.

Методические указания по выполнению лабораторного задания

А) Исследование переходной характеристики интегрирующей цепи

Для исследования переходной характеристики интегрирующей цепи собирается схема, приведенная на рисунке 3.1. Параметры цепи установить в соответствии с параметром τ расчетного задания, выполненного на этапе предварительной подготовки. Установить сопротивление резистора R равным 1 кОм, емкость конденсатора C выбрать (не обязательно из параметров стандартного ряда), исходя из соотношения $C=\tau/R$, где τ – постоянная времени исследуемой цепи.

На практике для измерения переходной характеристики цепи на ее вход подают тестовый сигнал, длительность которого много больше длительности активного участка переходной характеристики цепи. В данной работе будем использовать прямоугольный импульс, длительность которого в 20 раз больше постоянной времени τ . (параметры ТН и ТЛ генера-

тора импульсов). Длительность процесса моделирования установить равной длительности импульсов ТН.

Сохранить схему в своем каталоге и выполнить моделирование. При успешном моделировании следует вернуться в предыдущее окно и вывести результаты моделирования во временной области в виде графика.

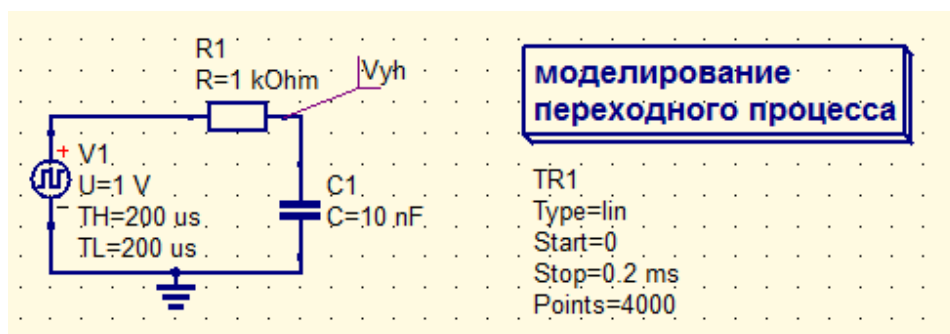


Рисунок 3.1 Схема для исследования переходной характеристики интегрирующей цепи

Примерный вид графика переходной характеристики дифференцирующей цепи приведен на рис. 3.2. Одним из параметров переходного процесса является его длительность. Под длительностью переходного процесса понимают интервал времени от момента подачи тестового сигнала до момента, после которого выходной сигнал не будет отличаться от установившегося значения более чем на 10 % (в зависимости от решаемых задач этот коридор может быть иной, например, 5 %).

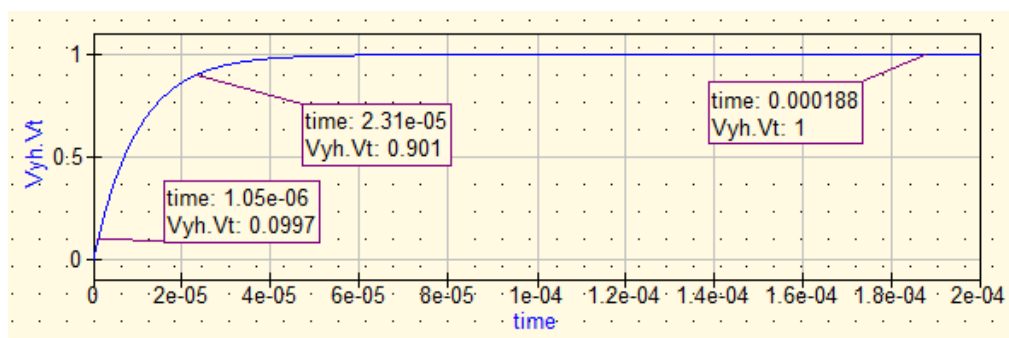


Рисунок 3.2 Переходная характеристика интегрирующей цепи

Для определения длительности переходного процесса используем маркеры. Для этого установим маркеры в любую точку установившегося значения (рисунок 3.2). По показанию маркера установившееся значение примем за 100 % перепада отклика. С помощью маркера постараемся отыскать точку, которая на графике характеризуют момент последнего прохождения уровня, составляющих 90 % от этого перепада. Этот момент времени и будет характеризовать один из параметров переходного процесса (его длительность).

В) Исследование переходной характеристики дифференцирующей цепи

Для исследования переходной характеристики (ПХ) дифференцирующей цепи собирается схема, приведенная на рисунке 3.3. Параметры цепи использовать такими же, как и для интегрирующей цепи (в том числе, и 3 варианта номинала конденсатора). Тестовый сигнал и параметры моделирования также оставить неизменными.

Сохранить схему в своем каталоге и выполнить моделирование. Примерный вид графика переходной характеристики дифференцирующей цепи приведен на рис. 3.4.

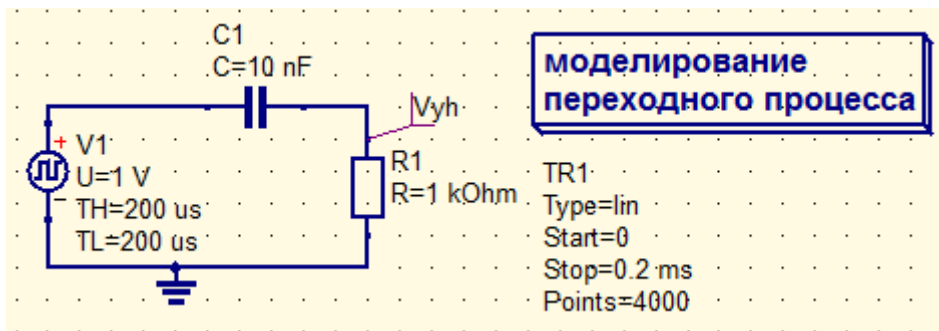


Рисунок 3.3 Схема для исследования переходной характеристики дифференцирующей цепи

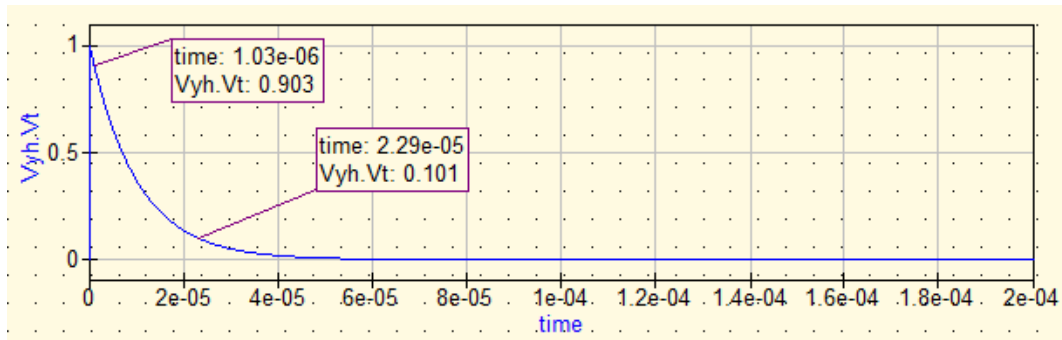


Рисунок 3.4 Переходная характеристика дифференцирующей цепи

С) Исследование импульсной характеристики интегрирующей цепи

Для исследования импульсной характеристики (ИХ) интегрирующей цепи собирается схема, приведенная на рисунке 3.5. Параметры цепей выбирать такими же, как и при исследовании переходных характеристик.

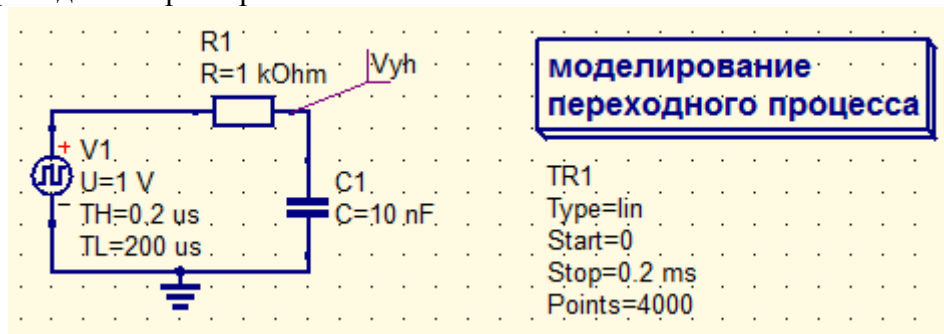


Рисунок 3.5 Схема для исследования импульсной характеристики интегрирующей цепи

На практике для измерения импульсных характеристик цепи на ее вход подают тестовый сигнал, длительность которого много меньше длительности импульсной характеристики цепи. В данной работе будем использовать прямоугольный импульс, длительность которого составляет 2 % от постоянной времени τ . Период повторения импульсов установить равным 20 постоянным времени цепи. Длительность процесса моделирования установить равной периоду повторения импульсов.

Сохранить схему в своем каталоге и выполнить моделирование. Примерный вид графика импульсной характеристики интегрирующей цепи приведен на рисунке 3.6.

Для определения длительности переходного процесса установите соответствующие маркеры.

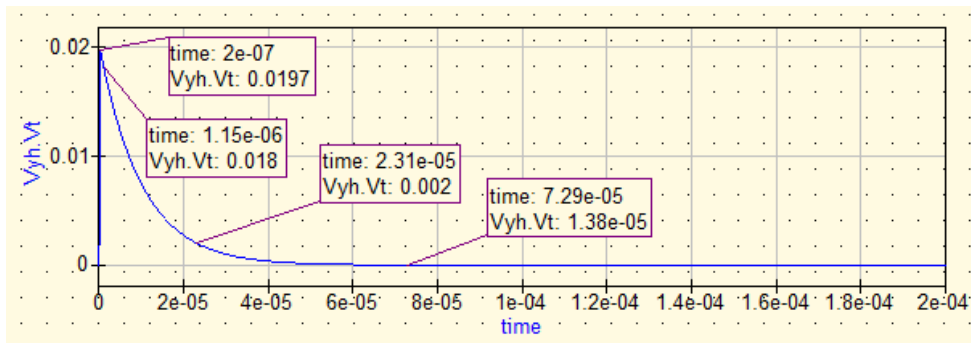


Рисунок 3.6 Импульсная характеристика интегрирующей цепи

D) Исследование импульсной характеристики дифференцирующей цепи

Для исследования импульсной характеристики дифференцирующей цепи собирается схема, приведенная на рисунке 3.7. Параметры цепи установить такими же, как и на предыдущих исследованиях. Параметры тестового сигнала и параметры моделирования установить такими же, как и для интегрирующей цепи.

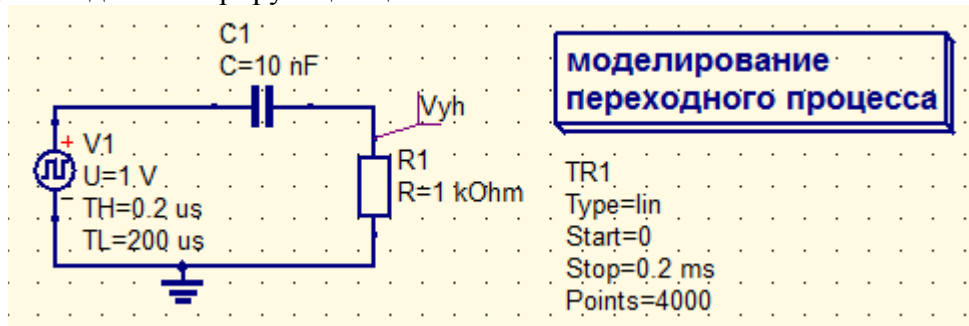


Рисунок 3.7 Схема для исследования импульсной характеристики дифференцирующей цепи

Сохранить схему в своем каталоге и выполнить моделирование. При успешном моделировании следует вернуться в предыдущее окно и вывести результаты моделирования во временной области в виде графика. Примерный вид графика импульсной характеристики дифференцирующей цепи приведен на рис. 3.8.

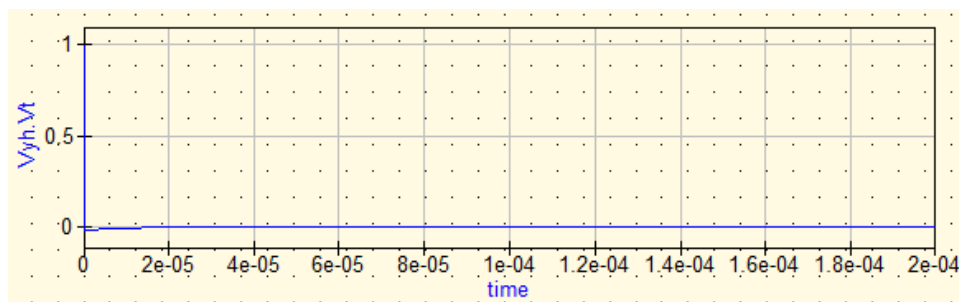


Рисунок 3.8 Отклик дифференцирующей цепи на импульсное воздействие

Из-за очень короткой длительности тестового импульса на графике почти незаметна реакция цепи. По такому графику невозможно получить практически никаких параметров, и необходимо изменить масштаб графика в районе действия тестового сигнала. Для ограничения интервала наблюдения импульсной характеристики следует двойным кликом на графике временной диаграммы вызвать окно «Изменение свойств диаграммы». На вкладке «Границы» (представлена на рисунке 3.9) установить флажок «вручную» для оси «X». Ввести параметры «конец» и «шаг». Параметр «конец» выбрать равным $(2...3)t$. Параметр «шаг» выбрать на порядок меньше.

Примерный вид отклика дифференцирующей цепи на импульсное воздействие с изменением временного масштаба приведен на рисунке 3.10. На графике можно выделить две зоны реакции цепи на тестовый сигнал: во время действия импульса и после его окончания.

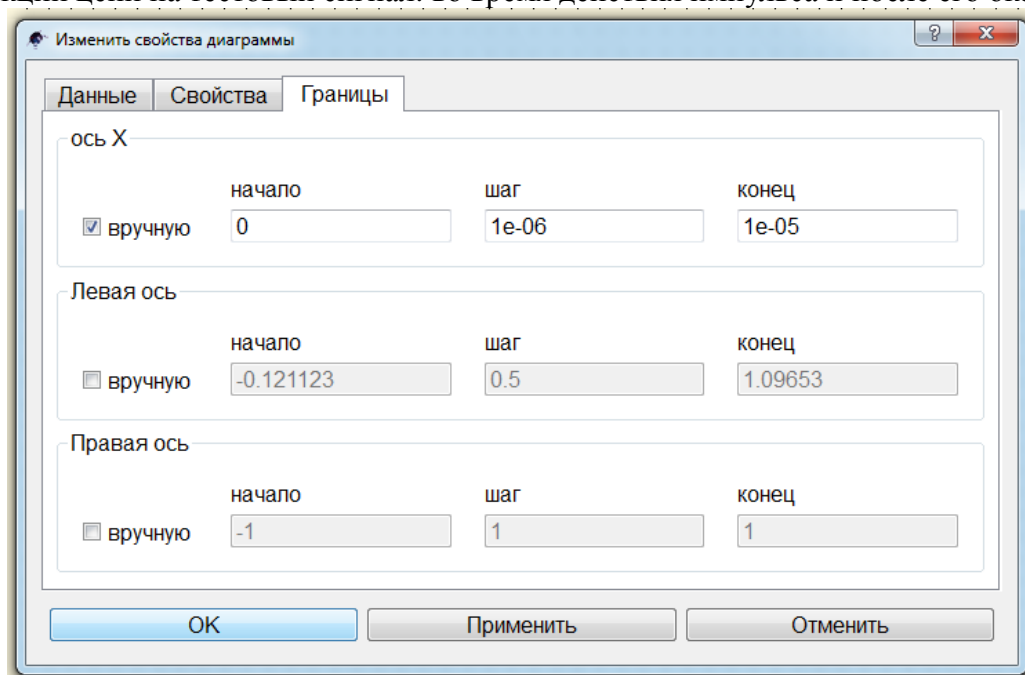


Рисунок 3.9 Окно изменения границ графика временной диаграммы

Во время действия тестового импульса отклик цепи формируется не только передаточной характеристикой цепи, но и изображением по Лапласу входного сигнала. После окончания входного импульса отклик на выходе цепи формируется только передаточной характеристикой цепи, и если нас интересует именно этот фрагмент отклика, следует изменить масштаб графика.

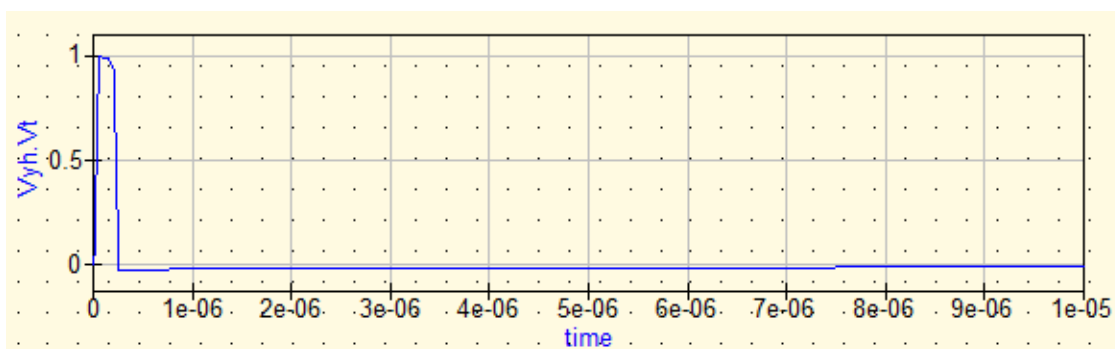


Рисунок 3.10 Отклик дифференцирующей цепи на импульсное воздействие (при изменении временной шкалы)

Изменим масштаб графика таким образом, чтобы наблюдать только отрицательную часть отклика. Двойным кликом на графике временной диаграммы вызвать окно «Изменение свойств диаграммы». На вкладке «Границы» (рисунок 3.11) установить флажок «вручную» для левой оси и ввести параметры «конец» и «шаг». Параметр «конец» выбрать равным 0, параметр «начало» выбрать таким образом, чтобы график отклика занимал подавляющую часть рабочей области. Параметр «шаг» выбрать в несколько раз меньше разности конечных значений. Флажок «вручную» для оси «X» оставить.

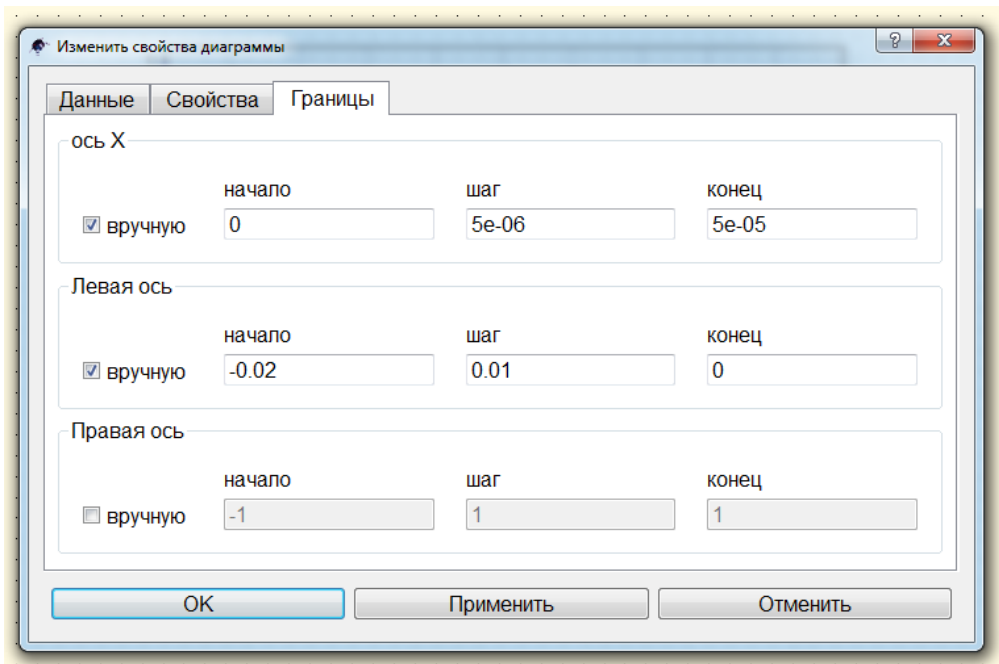


Рисунок 3.11 Окно изменения границ графика временной диаграммы

На временной диаграмме (рисунок. 3.12) более подробно представлен фрагмент отклика на импульсное воздействие. И чем короче входной импульс, тем все более этот фрагмент будет совпадать с импульсной характеристикой дифференцирующей цепи (сливаясь с ней в пределе при воздействии дельта-импульса).

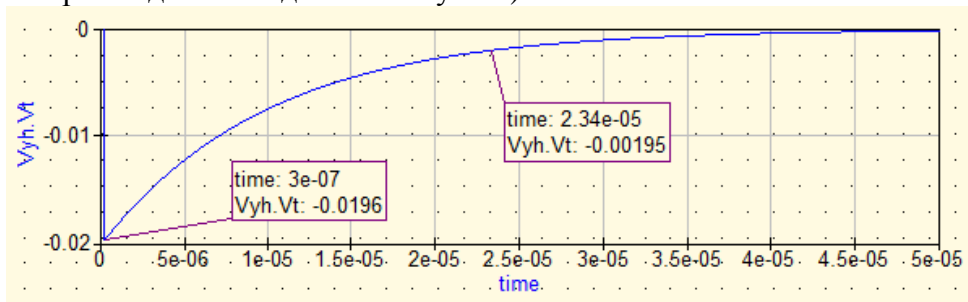


Рисунок 3.12 Импульсная характеристика дифференцирующей цепи (без фрагмента вынужденной составляющей отклика)

Е) Исследование амплитудно-частотной характеристики интегрирующей цепи

Для исследования амплитудно-частотной характеристики интегрирующей цепи собирается схема, приведенная на рисунке 3.13. Параметры цепи установить такими же, как и на предыдущих исследованиях.

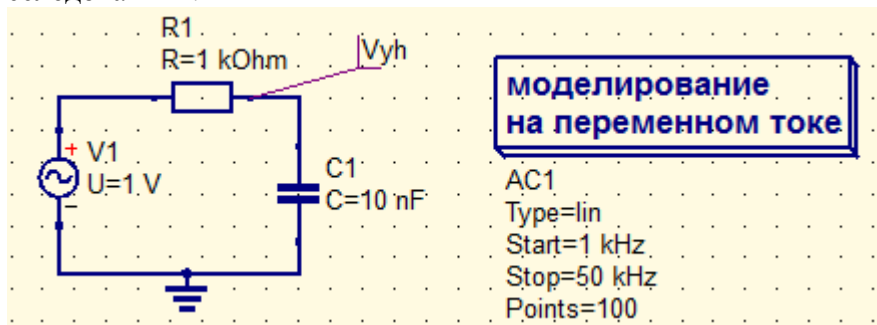


Рисунок 3.13 Схема для исследования амплитудно-частотной характеристики интегрирующей цепи

Параметры тестового сигнала и параметры моделирования установить в соответствии со схемой (рисунок 3.13). При этом диапазон изменения частоты установить от 1 кГц до величины, численно равной $1/\tau$.

После успешного моделирования вывести график АЧХ и с помощью маркера отметить на нем границу полосы пропускания на уровне -3 дБ (точку с уровнем, равным $1/\sqrt{2}$ от максимального значения).

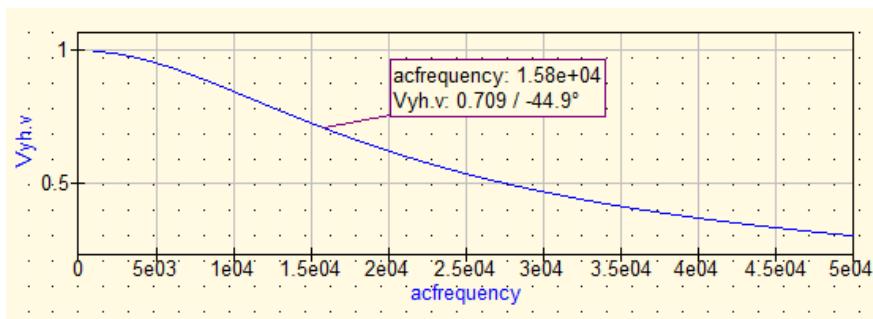


Рисунок 3.14 Амплитудно-частотная характеристика интегрирующей цепи

Для представления параметров маркера в формате «Амплитуда/фаза» двойным кликом на окне маркера вызвать окно «Изменение свойств маркера» и установить в нем соответствующий режим (рисунок 3.15).

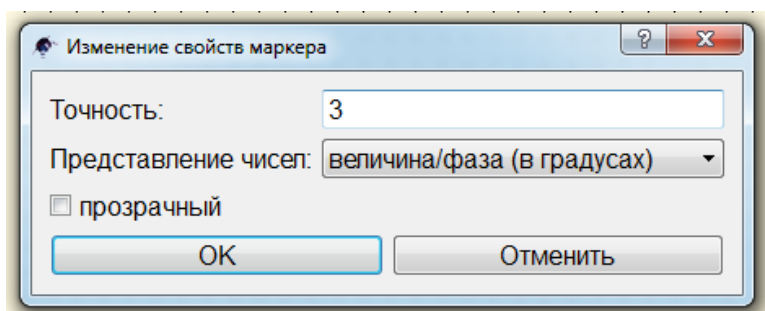


Рисунок 3.15 Окно изменения параметров вывода маркера

Е) Исследование амплитудно-частотной характеристики дифференцирующей цепи

Для исследования амплитудно-частотной характеристики дифференцирующей цепи собирается схема, приведенная на рисунке 3.16. Параметры цепи, параметры тестового сигнала и параметры моделирования установить такими же, как и на предыдущих исследованиях.

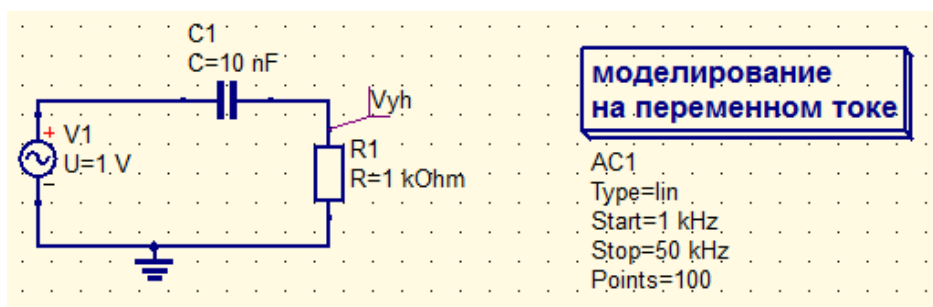


Рисунок 3.16 Схема для исследования амплитудно-частотной характеристики дифференцирующей цепи

После успешного моделирования вывести график АЧХ и с помощью маркера отметить на нем границу полосы пропускания на уровне -3 дБ.

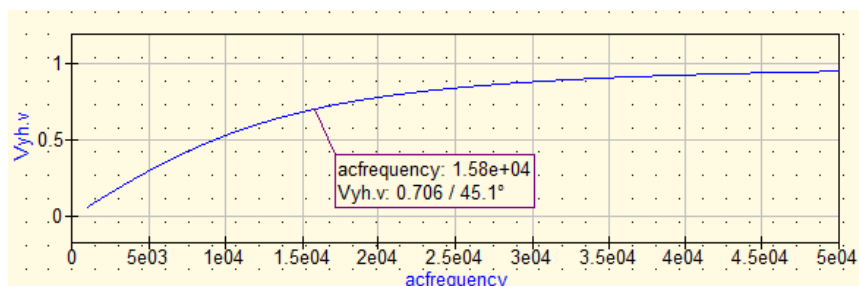


Рисунок 3.17 Амплитудно-частотная характеристика интегрирующей цепи

Контрольные вопросы

Поясните:

- 1) на чем базируется спектральный метод расчета реакции линейной цепи на периодическое воздействие; на непериодическое воздействие;
- 2) на чем базируются методы временного интегрирования условно называемые метод интеграла Дюамеля и метод интеграла свертки;
- 3) какова связь между частотными и временными характеристиками линейных цепей;
- 4) как экспериментально снять временные характеристики линейных цепей;
- 5) почему меняется форма сигнала при прохождении его через линейную цепь;
- 6) каковы условия неискаженной передачи сигнала по каналу связи;
- 7) как отражаются искажения в области низких и высоких частот на форме сигнала;
- 8) как по графику переходной характеристики определить постоянную времени цепи;
- 9) смысл и размерность постоянных времени интегрирующих и дифференцирующих RC и RL -цепей:

10) при каких сочетаниях между постоянной времени цепи и длительностью импульса положительной полярности с выхода 13 "Генератора видеосигналов" этот импульс может служить моделью единичного скачка;

11) при каких условиях RC -фильтр верхних частот ведет себя как дифференцирующая цепь,

12) неискажающая цепь (межкаскадная разделительная цепь);

13) при каких условиях RC -фильтр нижних частот приближается к интегрирующей цепи (на основе временного и частотного подходов).

Изобразите:

- частотные характеристики цепи, не искажающей сигнал;
- схемы и графики АЧХ и ФЧХ интегрирующей и дифференцирующей RC и RL -цепей;
- переходные характеристики ФВЧ и ФНЧ на RC и RL -цепях;
- переходные характеристики полосопропускающей апериодической цепи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнение лабораторных работ по дисциплине "Сигналы электросвязи" позволило не только закрепить и расширить теоретические знания студентов в области теоретических основ радиотехники и связи, но и получить навыки работы с аппаратурой при лабораторных исследованиях.

Первая часть цикла работ, представленных в данном пособии, познакомила студентов с практикой аппаратурного анализа основных характеристик цепей и сигналов. Выполнение теоретических расчетов и подтверждение их экспериментальными исследованиями позволила расширить и углубить знания в области теории сигналов. В частности, более детально были исследованы соотношения между временными и спектральными характеристиками сигналов, параметрами линейных цепей и характеристик сигналов на их выходе.

Полученные знания и навыки будут полезны при изучении последующих профильных дисциплин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. школа, 2005.-462с.
2. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Компьютеризированный курс : Учебное пособие для вузов/ М.:ФОРУМ, 2005; М.:Инфа-М,2005.-431с.
3. Денисенко А.Н. Сигналы. Теоретическая радиотехника. Справочное пособие. -М: Горячая линия-Телеком, 2005.-704с.
4. Каратаева Н.А. Радиотехнические цепи и сигналы. Теория сигналов и линейные фильтры: Учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2003. – 255 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие требования при выполнении работ

1. Перед выполнением работы студенты обязаны:

- а) При домашней подготовке изучить соответствующие разделы теоретического курса.
- б) Произвести необходимые предварительные расчёты, изложенные в домашнем задании.

нии.

в) При выполнении работ в лаборатории ознакомиться с правилами техники безопасности.

2. Лабораторные работы выполняются индивидуально. Выбор варианта определяется порядковым номером студента в списке группы.

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

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

5. Работа считается выполненной после защиты и утверждения отчета преподавателем.

6. Студенты, не выполнившие работу в часы занятий, обязаны выполнить ее в специально отведенное время.

Содержание и оформление отчета

1. Отчет по выполненной работе составляется индивидуально каждым студентом с указанием варианта.

2. Отчет оформлять в среде редакторов Microsoft Office либо Open Office. Отчет подписывается студентом.

3. Отчет должен содержать:

- Цель исследования.
- Расчетную часть задания.
- Структурные схемы проводимых исследований с указанием всех измерительных приборов.
- Краткое описание методик измерения параметров и характеристик исследуемого устройства.
- Результаты исследования в виде таблиц, графиков и осциллограмм с обязательным указанием условий, при которых они были получены (частота и амплитуда входного сигнала, параметры нагрузки...).
- Выводы, полученные на основании анализа расчетных и экспериментальных данных.

Защита отчета

1. Лабораторная работа считается выполненной после защиты студентом отчёта о проделанной работе.

2. При защите отчета студент должен представить оформленный надлежащим образом отчет и показать свои знания и умения в следующих вопросах:

- результаты расчётов по домашнему заданию и методика его выполнения;
- структурная схема исследований и методика выполнения работ;

- электрическая схема исследуемого устройства и назначение всех её элементов;
- теоретические закономерности, эквивалентные схемы и расчетные соотношения по данной работе.
- полученные экспериментальные результаты и их анализ.

3. Защита отчета во время карантинных мероприятий проводится в формате конференции.

Краткие сведения о компонентах пакета QUCS

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), размещенном во вкладке Справка программы QUCS.