

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

---

**А.Н.ДЕНИСЕНКО, В.Н.ИСАКОВ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по выполнению лабораторных работ на ПК по дисциплине

**«ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»**

**Москва – 2010**

ББК 6Ф2

Денисенко А.Н., В.Н.Исаков. Методические указания по выполнению лабораторных работ на персональном компьютере по дисциплине «Теория электрических цепей». –М: МГТУ ГА, 2010.

Содержание лабораторных работ и методических указаний к ним соответствуют учебной программе дисциплины по специальности 090160.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ОРТЗИ.

© А.Н.Денисенко, В.Н.Исаков

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ 1 - 3

### «АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ»

Лабораторные работы включают следующие разделы

1. Анализ частотных характеристик линейных цепей.
2. Анализ временных характеристик линейных цепей.
3. Анализ прохождения сигналов, заданных аналитически (библиотечных сигналов) через линейные цепи.
4. Анализ прохождения сигналов произвольного вида (заданных графически) через линейные цепи.

Выполнение работ обеспечивается программами:

- «Библиотека линейных цепей» – схемы цепей первого и второго порядков,
- «Библиотека сигналов»,
- программа расчета характеристик цепей,
- программа расчета характеристик сигналов на входе и выходе цепей.

### ВВЕДЕНИЕ

К линейным цепям относятся цепи, в отношении которых соблюдается принцип суперпозиции. Остальные цепи относятся к нелинейным.

Из характеристик линейных цепей можно выделить временные и частотные характеристики. Временные характеристики описывают свойства цепей во временной области, к ним относятся импульсная и переходная характеристики. Импульсная характеристика  $h(t)$  описывает отклик цепи на воздействие в виде импульсной функции  $\delta(t)$ .

Представляя сигнал на входе цепи  $u_1(t)$  в виде последовательности импульсов и используя принцип суперпозиции, для сигнала на выходе цепи получим следующее выражение

$$u_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) u_1(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} h(t - \tau) u_1(\tau) d\tau = h(t) \otimes u_1(t). \quad (1)$$

Интеграл (1) представляет свертку импульсной характеристики и сигнала на входе цепи. Знак  $\otimes$  в (1) и означает свертку  $h(t)$  и  $u_1(t)$ .

Записанное выражение позволяет проводить анализ прохождения сигнала через линейную цепь при известной импульсной характеристике.

В частотной области линейная цепь описывается частотой характеристикой, которая представляет преобразование Фурье импульсной характеристики

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-i\omega t} dt. \quad (2)$$

Обратное преобразование Фурье позволяет перейти от  $H(\omega)$  к  $h(t)$

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega) e^{i\omega t} dt. \quad (3)$$

Учитывая, что  $h(t)=0$  при  $t<0$ , условие существования преобразования Фурье импульсной характеристики записывается в виде

$$\int_0^{\infty} |h(t)| dt < \infty. \quad (4)$$

Записанное условие является условием устойчивости линейной цепи.

В общем случае частотная характеристика является комплексной функцией и ее можно представить в виде

$$H(\omega) = \text{Re}[H(\omega)] + i \text{Im}[H(\omega)] \quad (5)$$

или

$$H(\omega) = |H(\omega)| e^{i\varphi_H(\omega)}, \quad (6)$$

где

$$|H(\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2[H(\omega)] + \text{Im}^2[H(\omega)]};$$

$$\varphi_H(\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im}[H(\omega)]}{\text{Re}[H(\omega)]}. \quad (7)$$

Модуль  $|H(\omega)|$  представляет амплитудно-частотную характеристику цепи (АЧХ), аргумент  $\varphi_H(\omega)$  – фазо-частотную характеристику (ФЧХ).

Частотная характеристика цепи позволяет проводить анализ прохождения сигнала через цепь, используя спектральную плотность сигнала. Преобразование Фурье левой и правой части (I) дает

$$S_2(\omega) = H(\omega) S_1(\omega). \quad (8)$$

где  $S_1(\omega)$  и  $S_2(\omega)$  – спектральные плотности сигналов на входе и выходе цепи.

Чаще всего исходной характеристикой цепи является частотная характеристика. Она определяется исходя из структуры и состава цепи.

#### ЛИТЕРАТУРА

А.Н.Денисенко. Теория электрических цепей. –М: Изд. МГТУГА, Часть 1, 2009; Часть 2, 2010.

## **Контрольные вопросы.**

1. Понятие линейной цепи.
2. Импульсная характеристика линейной цепи.
3. Частотная характеристика линейной цепи.
4. Соотношение между импульсной и частотной характеристиками цепи.
5. Описание прохождения сигнала через линейную цепь с использованием импульсной характеристики цепи.
6. Описание прохождения сигнала через линейную цепь с использованием частотной характеристики.

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Целью работы является закрепление знаний, полученных на лекциях по учебной дисциплине «Теория электрических цепей», углубление понимания физической сущности рассматриваемых понятий и явлений, получение четкого представления о методах анализа прохождения сигналов через линейную цепь, получение навыков самостоятельного анализа характеристик цепи и сигнала на выходе линейной цепи, закрепление навыков работы на персональном компьютере.

### **2. СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ, МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ**

Лабораторные работы выполняются на персональном компьютере (ПК). Схема установки представлена на рис. 1, включает:

- источник сигнала,
- аналогово-цифровой преобразователь (АЦП),
- компьютер (К) с программным обеспечением,
- цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Источник сигнала формирует сигнал заданного вида. В АЦП сигнал преобразуется к виду, необходимому для обработки в ПК: дискретизируется во времени и квантуется по уровню. Такой сигнал, записанный в двоичном коде, представляет цифровой сигнал.

В ПК производится преобразование сигнала в соответствии с заложенным алгоритмом.

В ПК программно производится моделирование 60 линейных цепей 1 и 2-го порядков; 36 сигналов, описываемых аналитически, и неограниченного числа сигналов произвольного вида; прохождения любого сигнала

через любую цепь с определением характеристик сигналов и цепей и выводом графиков на экран.

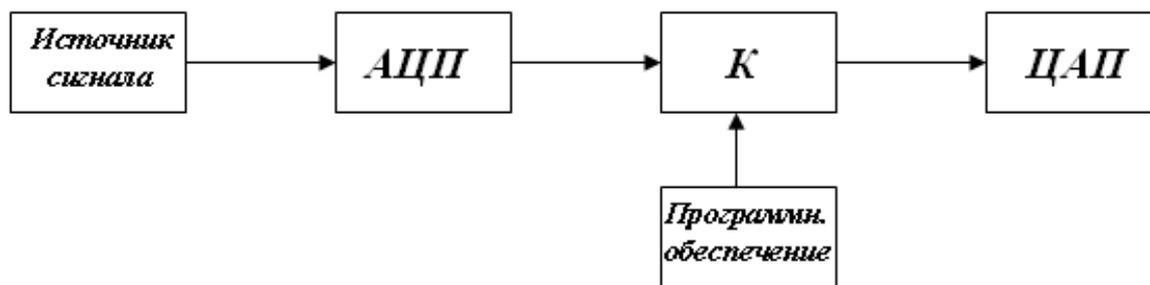


Рис.1

Программное обеспечение позволяет решать весь комплекс задач лабораторных работ.

В упрощенном варианте установки, когда отсутствуют узлы преобразования (АЦП и ЦАП), сигнал на входе ПК формируется программно. Исследуемый сигнал может быть выбран из библиотеки, которая включает 36 видов сигналов, или задан графически мышью на экране дисплея.

## 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ И ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1. К работе допускаются студенты, прошедшие собеседование (коллоквиум) с преподавателем.

Для подготовки к выполнению работы предполагается выдача индивидуального задания по теме лабораторной работы с проверкой качества его выполнения в процессе проведения собеседования.

2. Работа выполняется каждым студентом самостоятельно с использованием исходных данных, выданных преподавателем.

3. По окончании работы проводится проверка руководителем полноты выполненных исследований.

4. Отчет о выполненных исследованиях представляется в соответствии с установленной формой. Образец отчета по лабораторной работе приведен в конце методических указаний.

5. Методические указания по работе непосредственно с ПК высвечиваются в начале Работы на дисплее.

## 3. ОТЧЕТНОСТЬ ПО РАБОТЕ

Отчет по работе выполняется на листах формата А4 и должен содержать:

- название работы и выполняемых пунктов задания; структурную схему лабораторной установки; результаты исследований (в виде графиков и рисунков); выводы по каждому пункту и работе в целом.

В выводах по работе должны содержаться результаты анализа характеристик линейных цепей и их зависимости от значений параметров цепи, а также влияние параметров цепей на прохождение сигналов.

Образец титульного листа отчета по лабораторной работе приведен в приложении к методическим указаниям.

Образцы представления результатов исследований по каждой работе приведены ниже.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1**

### **АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ**

1. Для цепи заданного вида аналитически определить АЧХ цепи.
2. Для выбранных значений параметров цепи получить график АЧХ цепи.

Меняя параметры цепи, получить графики характеристик цепи.

3. Наблюдать прохождение сигналов через цепь заданного вида. Сигналы выбрать из библиотеки сигналов (по указанию преподавателя) и произвольного вида, задаваемого с помощью мыши.

4. По каждому пункту исследований сделать соответствующие выводы.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2**

### **АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ**

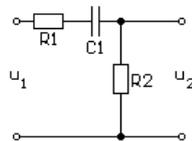
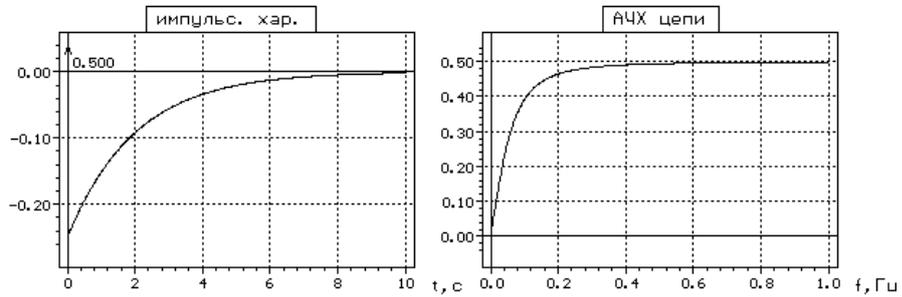
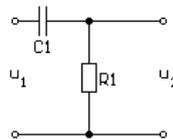
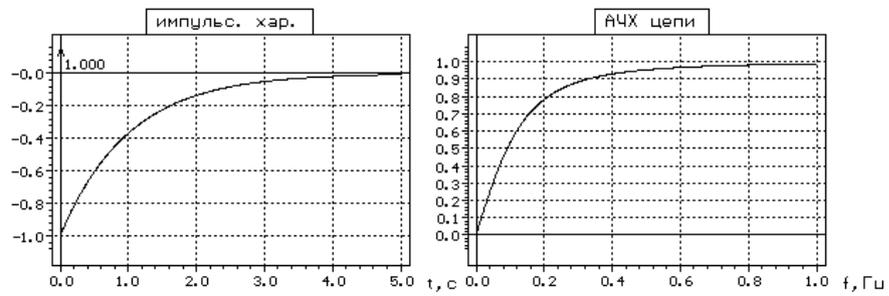
1. Для цепи заданного вида определить АЧХ и соответствующую импульсную характеристику.

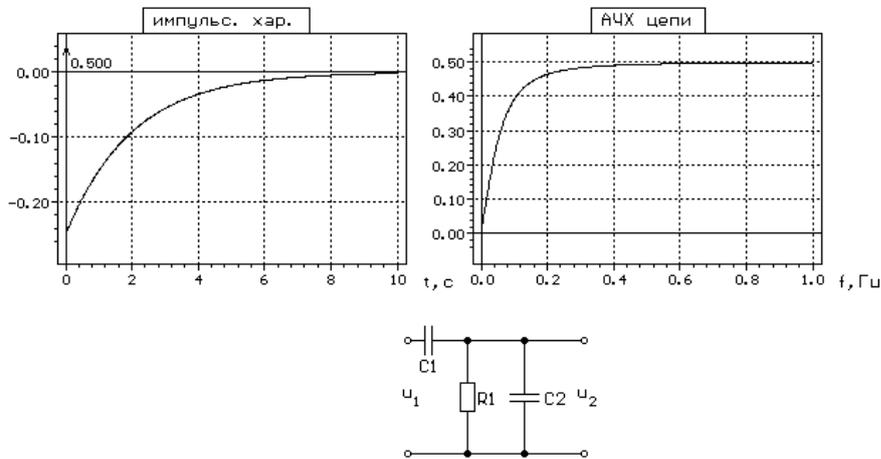
2. Для выбранных значений параметров цепи получить график импульсной характеристики цепи. Меняя параметры цепи, получить графики соответствующих характеристик цепи.

3. Наблюдать прохождение сигналов через цепь заданного вида. Сигналы выбрать из библиотеки сигналов (по указанию преподавателя) и произвольного вида, задаваемого с помощью мыши.

4. По каждому пункту исследований сделать соответствующие выводы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПЕЙ



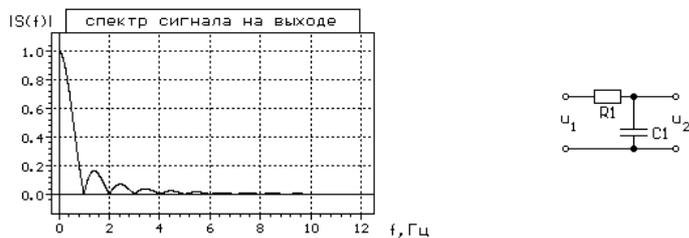
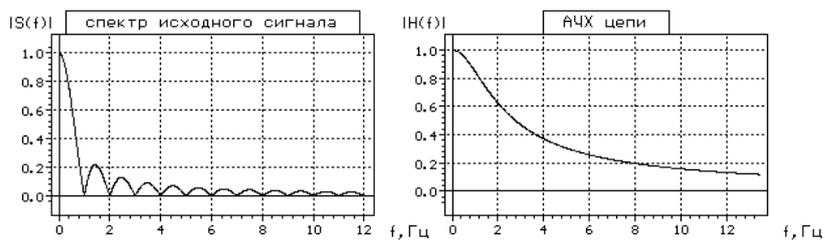
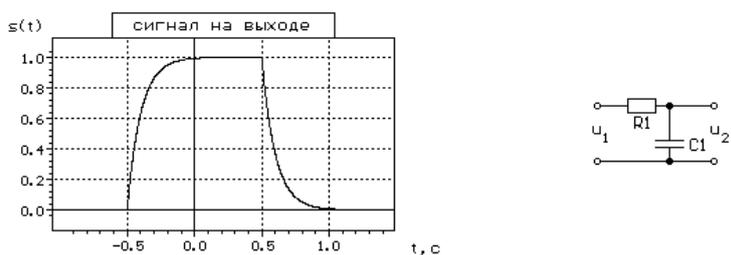
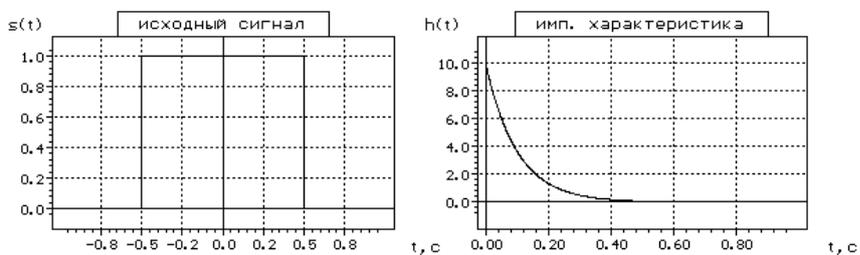


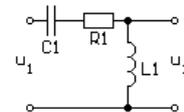
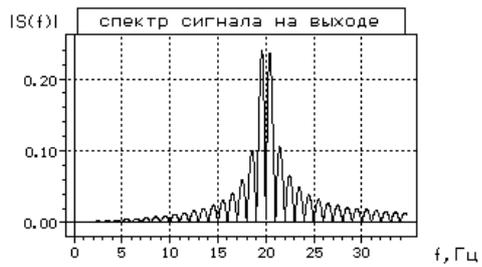
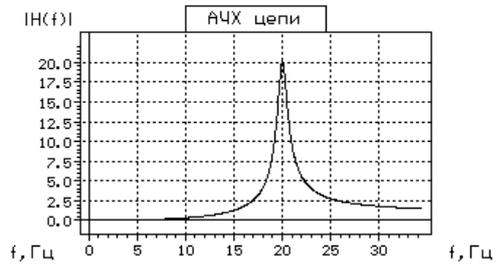
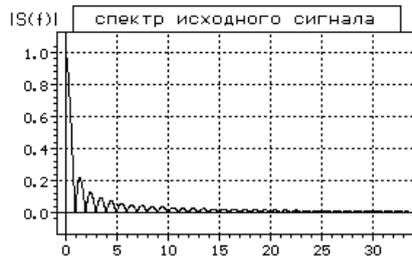
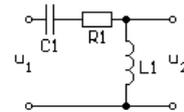
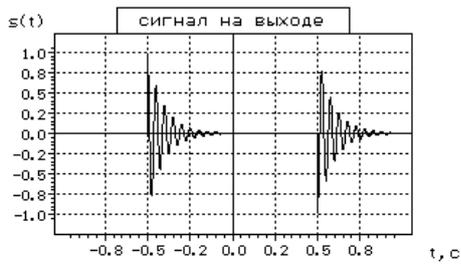
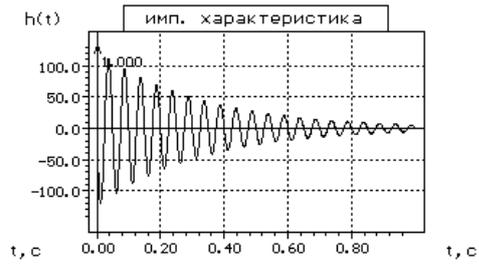
### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

#### АНАЛИЗ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

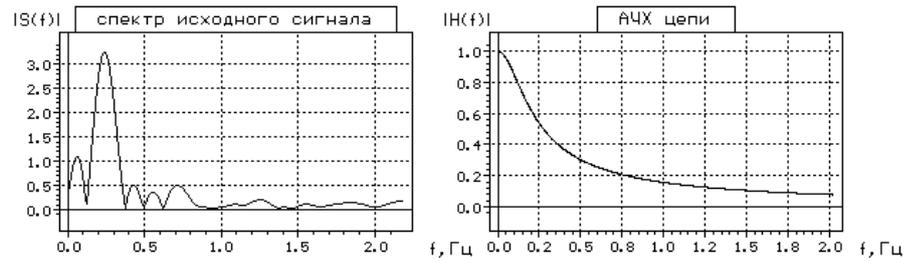
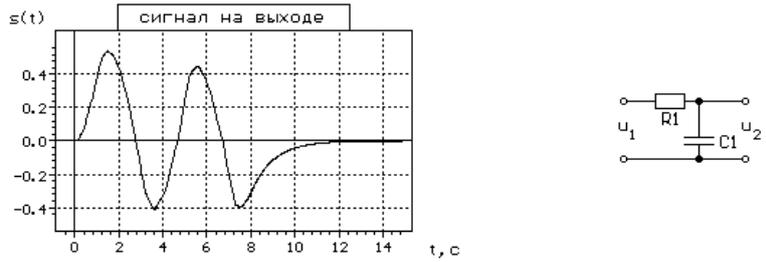
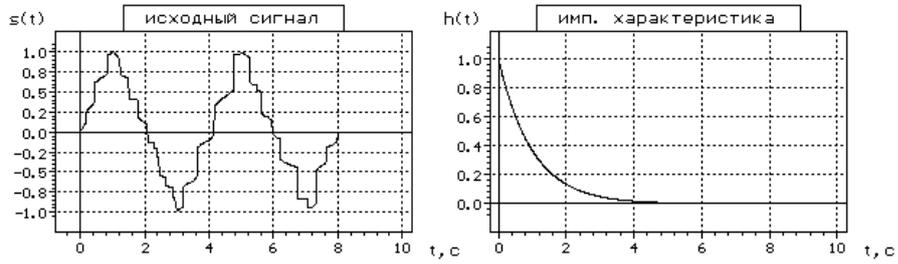
1. Для выбранного (заданного) сигнала (сигналы задаются преподавателем из библиотеки сигналов) получить его амплитудный спектр. Проанализировать влияние параметров сигнала на его спектр.
2. Для цепи заданного вида цепи определить частотную и импульсную характеристики.
3. Исследовать прохождение сигнала через цепь с использованием частотной характеристики цепи. Оценить влияние характеристик цепи на прохождение сигнала.
4. Задать сигнал произвольного вида графиком на экране дисплея. Определить его амплитудный спектр.
5. Исследовать прохождение заданного сигнала через цепь. Оценить влияние характеристик цепи на прохождение сигнала.
6. По каждому пункту исследований сделать соответствующие выводы.

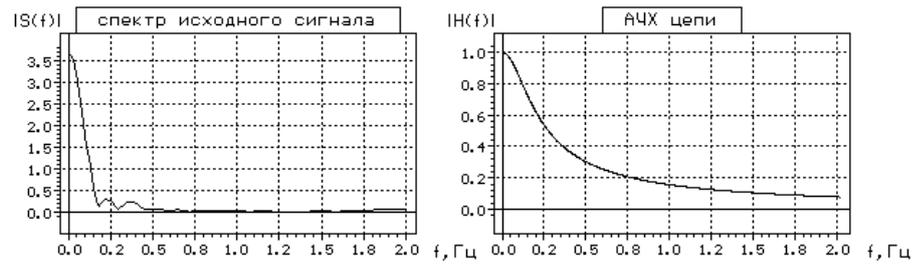
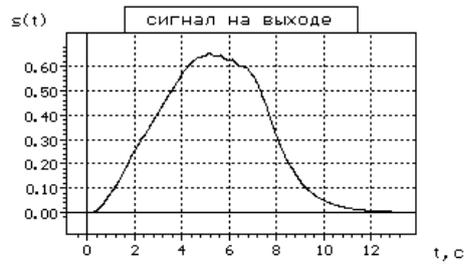
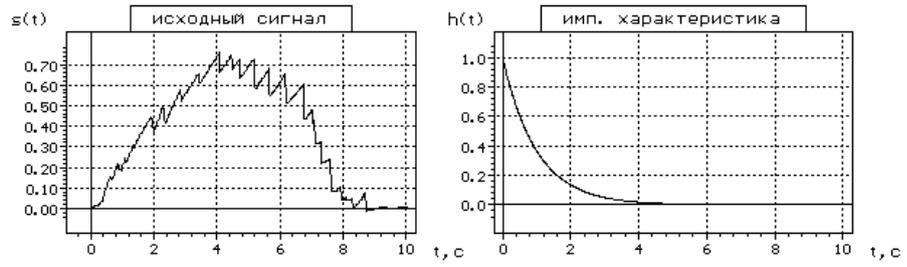
# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЦЕПЬ Библиотечные сигналы





# Сигналы произвольного вида





**Образец титульного листа отчета**

Московский государственный технический университет гражданской  
авиации

**Кафедра ОРТЗИ**

**Отчет по лабораторной работе №**

**АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ**

Выполнил: студент 2-го курса гр.

Иванов И.И.

Преподаватель: Сидоров С.С.

**Москва 200**

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ №№ 4 -7

### «СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ»

Лабораторные работы включают следующие разделы.

1. Спектральный анализ одиночного видеоимпульса, выбранного из библиотеки сигналов или заданных пользователем графически.
2. Спектральный анализ периодической последовательности видеоимпульсов.
3. Спектральный анализ одиночного радиоимпульса.
4. Спектральный анализ периодической последовательности радиоимпульсов.

Выполнение работ обеспечивается программами:

-«Библиотека сигналов»: сигнал – спектр, при заданном значении определяющих параметров, в том числе периоде следования и несущей частоте,

- программа графического задания сигнала произвольного вида,  
- программы расчета спектра сигнала произвольного вида (для видеоимпульса, периодической последовательности видеоимпульсов, радиоимпульса, периодической последовательности радиоимпульсов).

### ВВЕДЕНИЕ

Основой исследования детерминированных сигналов является спектральный анализ. Понятие спектрального анализа является довольно широким. Оно применимо к рассмотрению любых функций в виде обобщенного ряда Фурье. При анализе сигналов обычно используется преобразование или ряд Фурье, позволяющие перевести анализ в частотную область. Сигнал рассматривается как бесконечная или конечная совокупность гармонических составляющих.

Спектральный анализ непериодических сигналов основан на использовании преобразования Фурье. Прямое и обратное преобразования Фурье устанавливают взаимно однозначное соответствие между сигналом (временной функцией, описывающей сигнал  $s(t)$ ) и его спектральной плотностью  $S(\omega)$ :

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-i\omega t} dt, \quad s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (1)$$

Функция  $S(\omega)$  в общем случае является комплексной и как комплексная величина может быть представлена в виде

$$S(\omega) = \operatorname{Re}[S(\omega)] + i \operatorname{Im}[S(\omega)]; \quad S(\omega) = |S(\omega)|e^{i\varphi(\omega)}, \quad (2)$$

где  $\operatorname{Re}$ ,  $\operatorname{Im}$  - действительная и мнимая части комплексной величины;  
 $|S(\omega)|$ ,  $\varphi(\omega)$  - модуль и аргумент комплексной величины.

$$|S(\omega)| = \sqrt{\operatorname{Re}^2[S(\omega)] + \operatorname{Im}^2[S(\omega)]}; \quad \varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}[S(\omega)]}{\operatorname{Re}[S(\omega)]}. \quad (3)$$

Модуль спектральной плотности сигнала  $|S(\omega)|$  описывает распределение амплитуд гармонических составляющих по частоте, называется амплитудным спектром. Аргумент  $\varphi(\omega)$  дает распределение фазы по частоте, называется фазовым спектром сигнала. Амплитудный спектр является четной функцией, а фазовый спектр – нечетной функцией частоты

$$|S(\omega)| = |S(-\omega); \quad \varphi(-\omega) = -\varphi(\omega). \quad (4)$$

Сигнал полностью описывается совокупностью амплитудного и фазового спектров.

Гармонический анализ периодических сигналов основан на разложении временной функции,  $s(t)$ , описывающей сигнал с периодом  $T$  и частотой  $\omega_1 = 2\pi/T$ , по ортогональной системе тригонометрических функций  $\{\cos n\omega_1 t, \sin n\omega_1 t\}$ .

Для периодической функции  $s(t)$  тригонометрический ряд Фурье имеет вид

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_1 t + b_n \sin n\omega_1 t). \quad (5)$$

Свойства ортогональной системы тригонометрических функций позволяют достаточно просто определить коэффициенты разложения (5).

Коэффициенты ряда определяются выражениями

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos n\omega_1 t dt; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin n\omega_1 t dt. \quad (6)$$

Условие возможности разложения функции в ряд Фурье накладывают определенные ограничения на функцию  $s(t)$ . Функция  $s(t)$  должна быть квадратично интегрируемой на интервале периодичности  $[-T/2, T/2]$ . Такие функции описывают периодические сигналы с ограниченной мощностью, т.е. практически все реальные сигналы

Для четной функции  $s(t)$ , как это следует из (6),

$$a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} s(t) \cos n\omega_1 t dt; \quad b_n = 0, \quad (7)$$

для нечетной функции  $s(t)$ :

$$a_n = 0; \quad b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} s(t) \sin n\omega_1 t dt. \quad (8)$$

Обычно при анализе сигналов используется разложение  $s(t)$  в виде

$$s(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n), \quad (9)$$

$$\text{где } A_0 = a_0; \quad A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \quad \varphi_n = -\text{arctg} \frac{b_n}{a_n}. \quad (10)$$

Таким образом, периодический сигнал рассматривается в виде суммы гармонических составляющих с амплитудами  $A_n$  и начальными фазами  $\varphi_n$ . Совокупность амплитуд  $\{A_n\}$  представляет амплитудный спектр, а совокупность начальных фаз  $\{\varphi_n\}$  - фазовый спектр сигнала. Как следует из (9) сигнал полностью описывается совокупностью амплитуд и фаз.

Спектры периодических сигналов являются дискретными или линейчатыми – на экране анализатора спектра они представляются в виде отрезков линий. Интервал дискретизации по частоте равен частоте сигнала  $\omega_1 = 2\pi / T$ .

Преобразуя (1.9) при  $T \rightarrow \infty$ , получим выражение для спектральной плотности одиночного сигнала

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-i\omega t} dt. \quad (11)$$

Обратное преобразование дает выражение для  $s(t)$

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (12)$$

Записанные соотношения представляют прямое и обратное преобразования Фурье. Они и используются при гармоническом анализе непериодических сигналов.

Сравнение выражений для спектров одиночного импульса и периодической последовательностью импульсов показывает, что спектральная плотность одиночного импульса при  $\tau < T$  отличается от коэффициентов ряда Фурье периодической последовательности импульсов только множителем  $1/T$ . С учетом указанного соотношения определение спектра периодического сигнала в ряде случаев можно упростить, используя преобразование Фурье. Таким образом, при определении амплитудного и фазового спектров периодических сигналов полезно иметь в виду следующие равенства:

$$A_n = 2|c_n| = \frac{2}{T} |S(n\omega_1)|; \quad \varphi_n = \varphi(n\omega_1). \quad (13)$$

где  $S(\omega)$  - спектральная плотность одного импульса.

Основные характеристики сигналов, описанные выше, относятся ко всем сигналам, независимо от вида и ширины их спектра. Однако применительно к широкому классу сигналов – узкополосных – использование приведенных расчетных выражений часто сопряжено со значительными

трудностями. Особенности структуры узкополосных сигналов определили возможность особого подхода к их описанию и анализу, который упрощает их анализ.

Узкополосный сигнал описывается выражением

$$u(t) = V(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] = V(t) \cos \Phi(t), \quad (14)$$

где  $V(t)$ ,  $\Phi(t)$  - амплитуда и фаза сигнала;

$\omega_0$  - несущая частота.

Для описания узкополосного сигнала используется и комплексная форма записи

$$u(t) = \operatorname{Re}[\dot{V}(t)e^{i\omega_0 t}], \quad (15)$$

где  $\dot{V}(t) = V(t)e^{i\varphi(t)}$  - комплексная огибающая сигнала.

Как следует из (15), узкополосный сигнал определяется несущей частотой  $\omega_0$  и комплексной огибающей  $\dot{V}(t)$ .

Комплексная огибающая сигнала может быть представлена в виде

$$\dot{V}(t) = V_c(t) + iV_s(t) = V(t) \cos \varphi(t) + iV(t) \sin \varphi(t), \quad (16)$$

где  $V_c(t) \cos \varphi(t)$ ;  $V_s(t) \sin \varphi(t)$ .

С учетом (16) запишем

$$\dot{V}(t) = |V(t)|e^{i\varphi(t)}, \quad (17)$$

$$\text{где } |\dot{V}(t)| = \sqrt{V_c^2(t) + V_s^2(t)} = V(t), \quad \varphi(t) = \operatorname{arctg} \frac{V_s(t)}{V_c(t)}. \quad (18)$$

Спектральная плотность узкополосного сигнала  $u(t)$  определяется его преобразованием Фурье

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-i\omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{Re}[\dot{V}(t)e^{i\omega_0 t}]e^{-i\omega t} dt. \quad (19)$$

Действительную часть комплексной величины  $z$  можно представить в виде

$$\operatorname{Re}[z] = \frac{1}{2}(z + z^*), \quad (20)$$

где  $z^*$  - комплексно-сопряженная величина.

С учетом (20) из (19) получим

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [\dot{V}(t)e^{i\omega_0 t} + \dot{V}^*(t)e^{-i\omega_0 t}]e^{-i\omega t} dt = \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [\dot{V}(t)e^{-i(\omega-\omega_0)t}] dt + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{V}^*(t)e^{-i(\omega+\omega_0)t} dt. \end{aligned} \quad (21)$$

Величина

$$U(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{V}(t) e^{-i\omega t} dt$$

(22)

представляет спектральную плотность комплексной огибающей сигнала. Таким образом, спектральная плотность узкополосного сигнала определяется спектральной плотностью комплексной огибающей, соотношением, которое следует из (21)

$$S(\omega) = \frac{1}{2}U(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2}U^*(-\omega - \omega_0). \quad (23)$$

Спектральную плотность комплексной огибающей можно представить в виде

$$U(\omega) = |U(\omega)| e^{i\varphi_V(\omega)}, \quad (24)$$

где  $|U(\omega)|$ ,  $\varphi_V(\omega)$  - амплитудный и фазовый спектры комплексной огибающей сигнала.

Спектр комплексной огибающей сосредоточен в области низких частот. Спектр узкополосного сигнала  $S(\omega)$  получается путем переноса спектра комплексной огибающей  $U(\omega)$  из окрестности нулевой частоты в окрестность несущей частоты  $\pm\omega_0$  (с коэффициентом 1/2).

$$S_{\omega>0}(\omega) = \frac{1}{2}U(\omega - \omega_0), \quad S_{\omega<0}(\omega) = \frac{1}{2}U^*(-\omega - \omega_0).$$

(25)

Спектры в области положительных и отрицательных частот не должны заходить за начало координат, что и определяет условие узкополосности.

## ЛИТЕРАТУРА

А.Н.Денисенко. Теория электрических цепей. –М: Изд. МГТУГА, Часть1, 2009, Часть 2, 2010.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Спектральное представление периодических сигналов.
2. Спектральное представление непериодических сигналов.
3. Понятия амплитудного и фазового спектров.
4. Взаимосвязь между спектрами периодического и непериодического сигналов.
5. Определение и описание узкополосного сигнала.
6. Определение спектра узкополосного сигнала через спектр его комплексной огибающей.

## **1. ЦЕЛЬ РАБОТ**

Целью работ является закрепление знаний, полученных на лекциях по разделу «Спектральный анализ сигналов», углубление понимания физической сущности рассматриваемых понятий и явлений, получение четкого представления о спектрах сигналов различного вида, получение навыков самостоятельного анализа сигналов и закрепление навыков работы на ПК.

Цель достигается в процессе проведения исследований по следующим направлениям.

1. Анализ спектра одиночного видеосигнала, заданного аналитическим выражением.
2. Анализ спектра одиночного видеосигнала, заданного графически.
3. Анализ спектра периодической последовательности видеосигналов, заданных аналитическими выражениями.
4. Анализ спектра периодической последовательности видеосигналов, заданных графически.
5. Анализ спектра одиночного радиоимпульса, заданного аналитическим выражением.
6. Анализ спектра одиночного радиоимпульса, заданного графически.
7. Анализ спектра периодической последовательности радиоимпульсов, заданных аналитическими выражениями.
8. Анализ спектра периодической последовательности радиосигналов, заданных графически.

## **2. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ, МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ**

Лабораторные работы выполняются на базе ПК и обеспечиваются специальными программами, позволяющими сосредоточить основное внимание на содержании и выводах по результатам проводимых исследований, требуются только навыки операторской работы на ПК.

Структура лабораторной установки приведена на рис. 1.

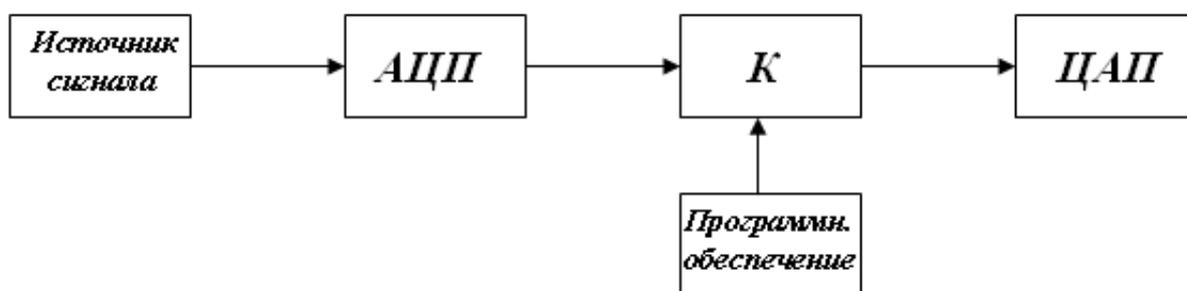


Рис.1

На рисунке обозначено: **К** –компьютер (системный блок), **АЦП** - аналого-цифровой преобразователь сигнала, **ЦАП** – цифро-аналоговый преобразователь.

Специфика систем цифровой обработки определили вид сигналов, используемых в системе, и методы их анализа. При обработке в ПК сигнал должен быть представлен в виде, требуемом для записи и преобразования в ПК. Информация о сигнале передается только в определенные моменты времени, через заданный интервал времени. Выборка из непрерывного сигнала во времени (рис.2,*а*) представляет дискретный сигнал (рис.2,*б*). Таким образом, на входе системы должна производиться дискретизация непрерывного сигнала во времени. Для записи сигнала в ПК дискретный сигнал квантуется по уровню (рис.2,*в*) и округляется до значения ближайшего значения уровня. Дискретный во времени сигнал, квантованный по уровню и записанный в цифровом коде, называется цифровым. Эти функции выполняются в АЦП. В ПК обрабатываются цифровые сигналы.

При необходимости на выходе ПК получить аналоговый сигнал к выходу подключается ЦАП.

Лабораторная установка предполагает обработку реальных (аналоговых) сигналов. В отсутствии АЦП предусмотрена возможность моделирования сигналов требуемых видов программно.

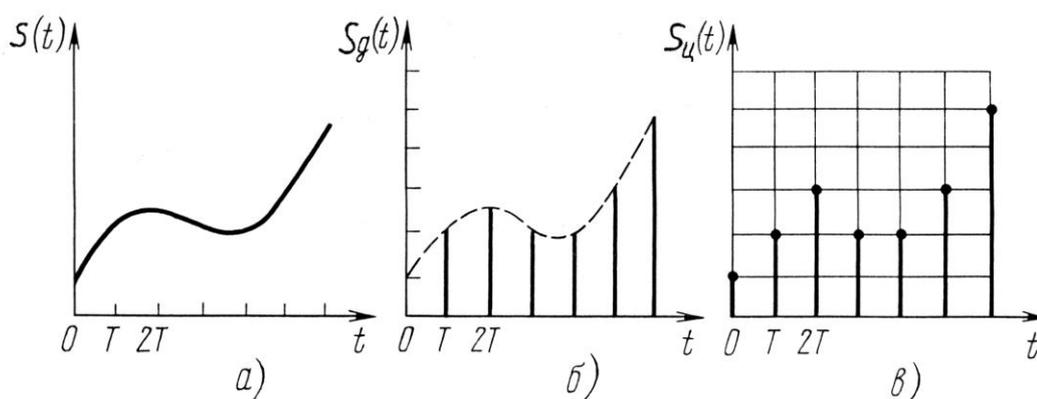


Рис.2

Указания по работе с программами ПК, а также пояснения по использованию меню ПК приведены в методических указаниях, размещенных на дисплее.

1. К работе допускаются студенты, прошедшие собеседование (коллоквиум) с преподавателем.

Для подготовки к выполнению работы возможна выдача студенту индивидуального задания по теме лабораторной работы с проверкой качества его выполнения в процессе проведения коллоквиума.

2. Работа выполняется каждым студентом самостоятельно с использованием исходных данных, выданных преподавателем.

3. По окончании работы проводится проверка руководителем полноты выполненных исследований.

4. Отчет о выполненных исследованиях представляется в соответствии с установленной формой. Титульный лист отчета приведен в приложении, форма представления результатов проведенных исследований дана в описании каждой лабораторной работы.

По результатам исследований должны быть сделаны соответствующие выводы.

### **3. ОТЧЕТНОСТЬ ПО РАБОТЕ**

Отчет по работе выполняется в соответствии с установленными требованиями на листах формата А4 и должен содержать:

- название работы и выполняемых пунктов задания;
- структурную схему лабораторной установки;
- результаты исследований (в виде графиков и рисунков);
- выводы по каждому пункту и работе в целом.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4**

#### **СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИДЕОИМПУЛЬСОВ**

1. В соответствии с выданным заданием определить амплитудный спектр видеосигналов, описываемых аналитическим выражением и взятых из библиотеки сигналов. Проанализировать влияние параметров сигнала на амплитудный спектр.

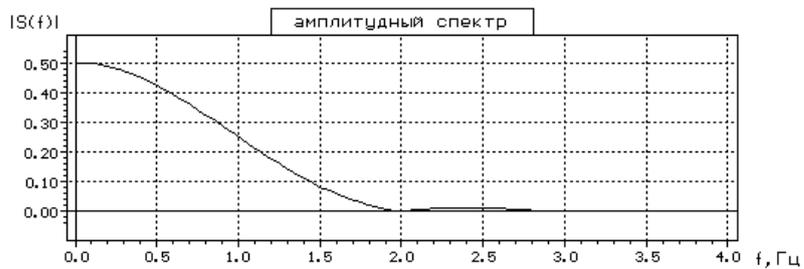
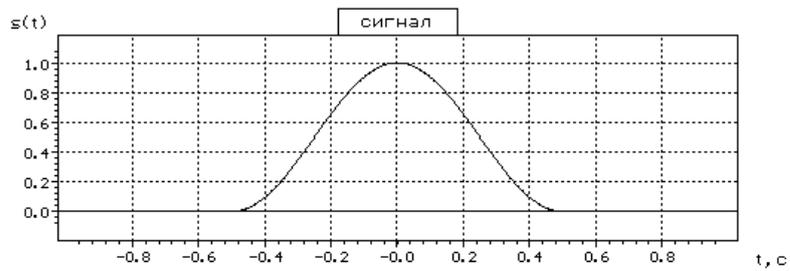
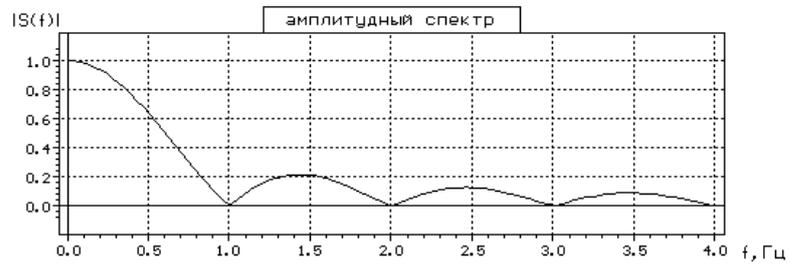
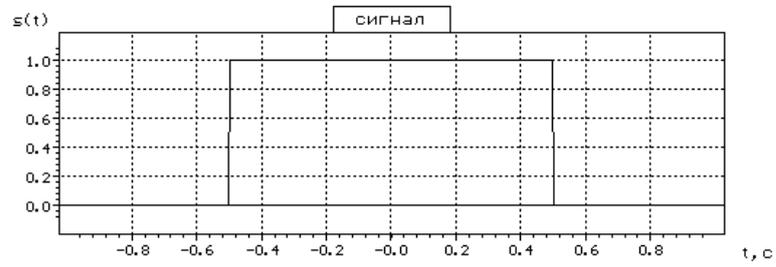
2. Задать видеосигналы (произвольного вида), получить для них спектр.

Проанализировать влияние вида сигнала и его параметров на амплитудный спектр.

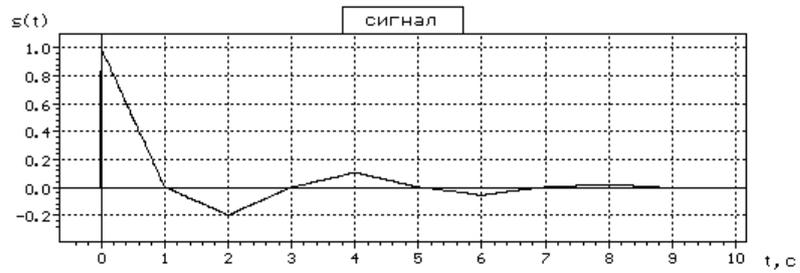
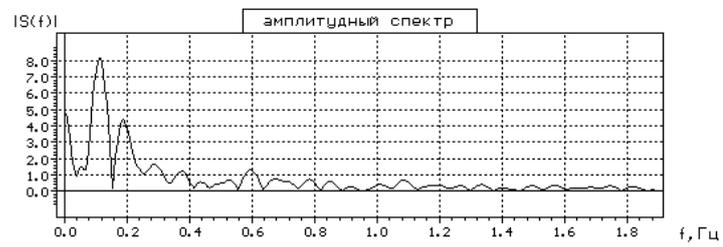
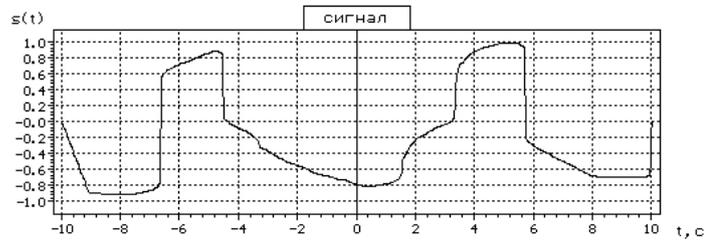
4. По каждому пункту исследований сделать соответствующие выводы.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

## Одиночные видеоимпульсы из библиотеки сигналов



## Одиночные видеоимпульсы произвольного вида



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВИДЕОИМПУЛЬСОВ

1. В соответствии с выданным заданием определить амплитудный спектр периодической последовательности видеосигналов, описываемых аналитическим выражением и взятых из библиотеки сигналов. Проанализировать влияние параметров сигнала, в том числе длительности импульсов и периода следования (скважности) на амплитудный спектр.

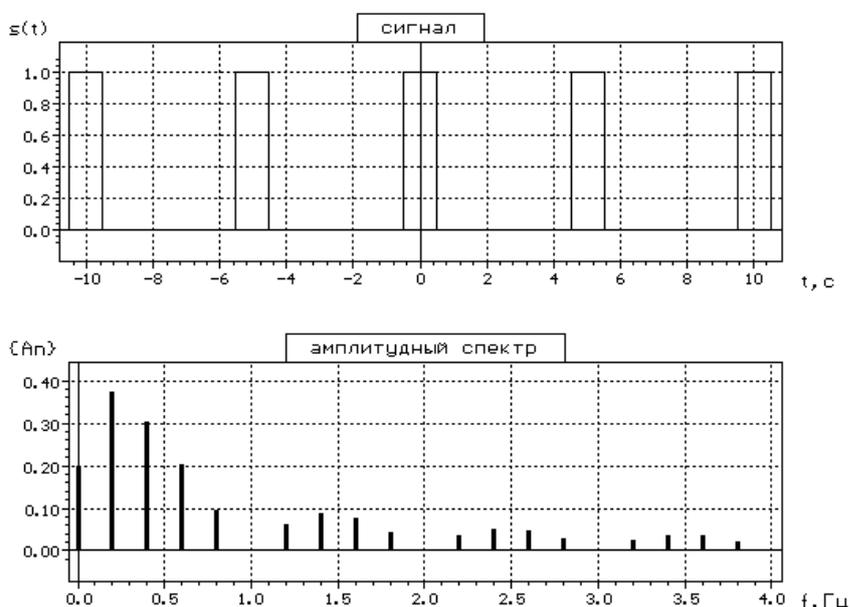
2. Задать периодическую последовательность видеосигналов произвольного вида, получить для них спектр.

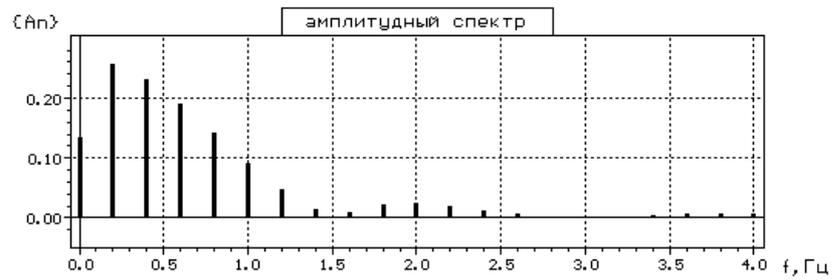
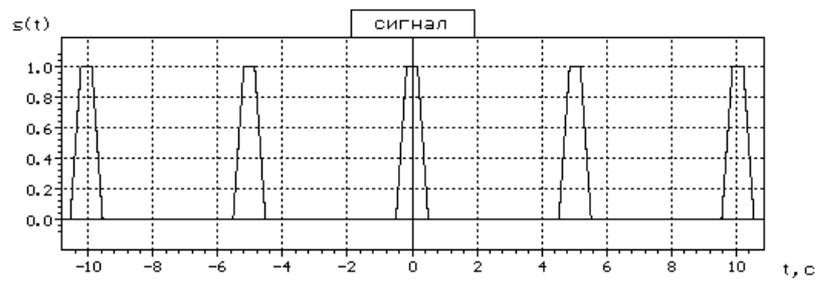
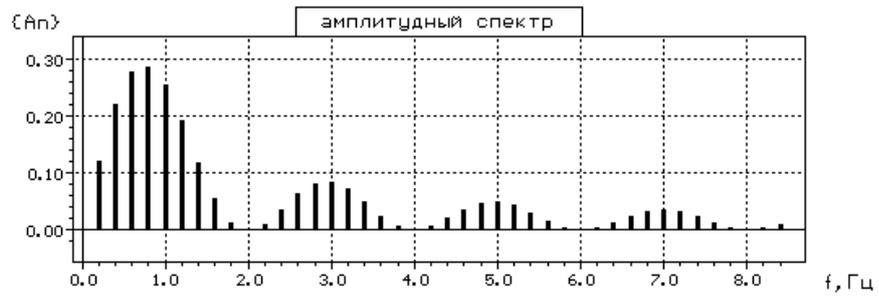
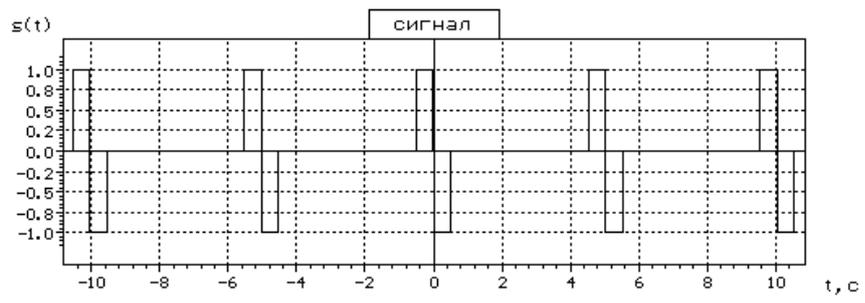
Проанализировать влияние вида сигнала и его параметров на амплитудный спектр.

3. По каждому пункту исследований сделать соответствующие выводы.

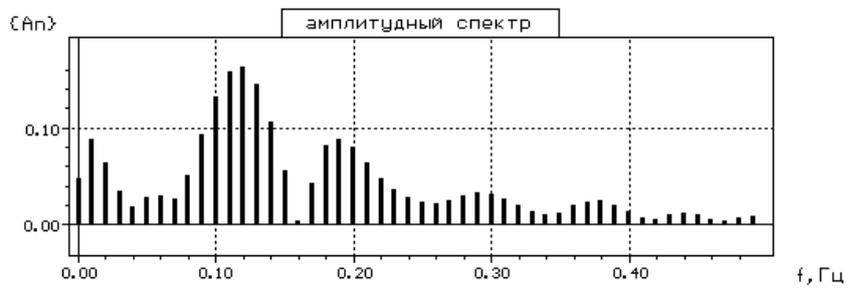
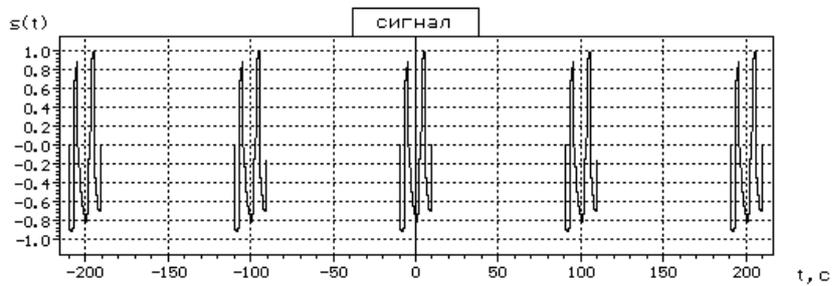
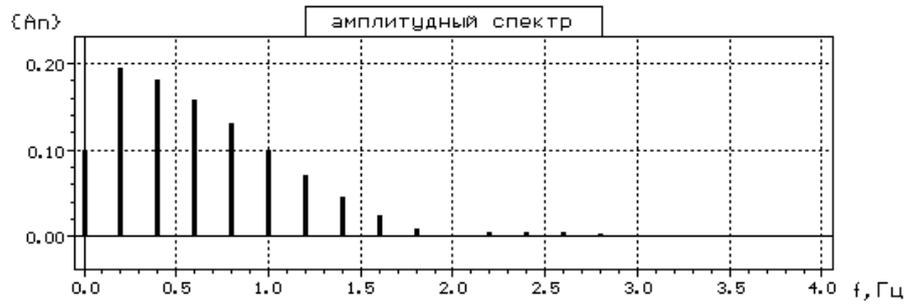
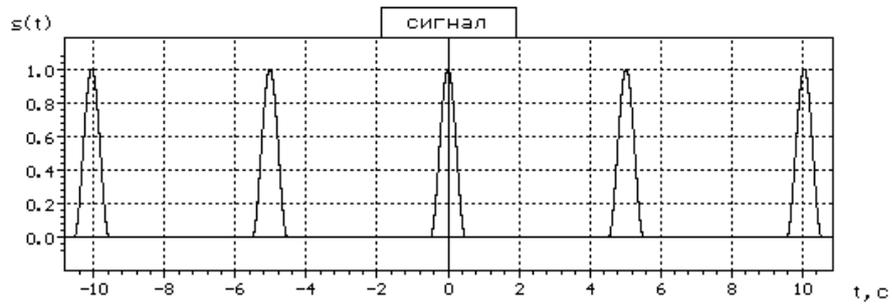
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### Периодическая последовательность видеоимпульсов из библиотеки сигналов





## Периодическая последовательность видеоимпульсов произвольного вида



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

### СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОИМПУЛЬСОВ

1. В соответствии с выданным заданием определить амплитудный спектр одиночных радиоимпульсов, огибающая которых описывается аналитическим выражением (из библиотеки сигналов).

Проанализировать влияние параметров сигнала, в том числе длительности импульсов и несущей частоты на амплитудный спектр.

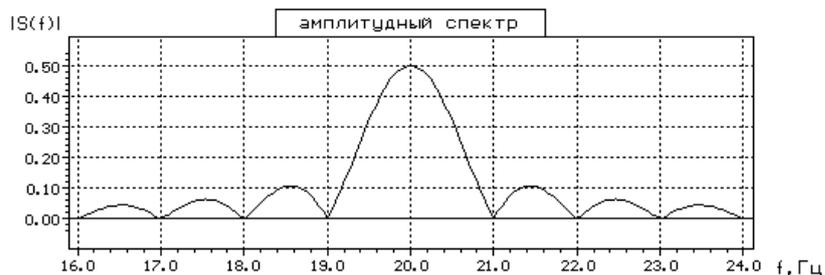
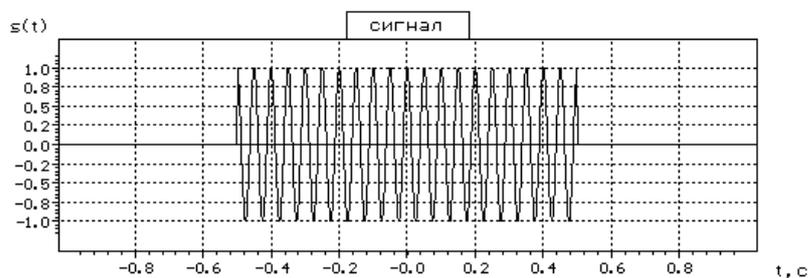
2. Задать радиоимпульсы произвольного вида, получить для них спектр.

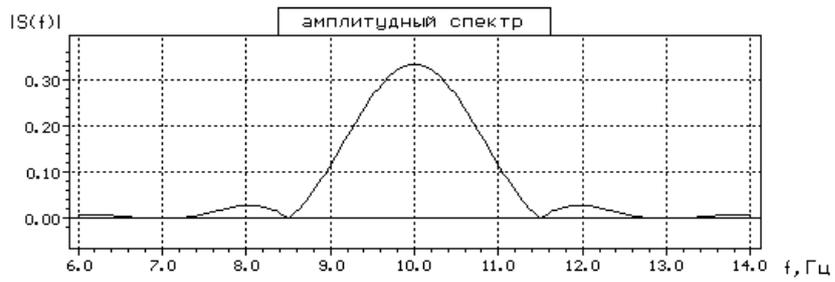
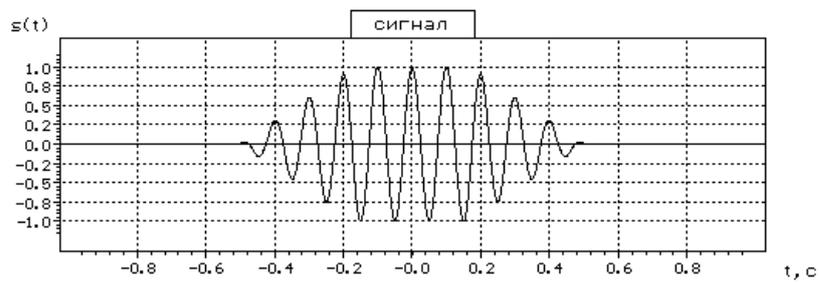
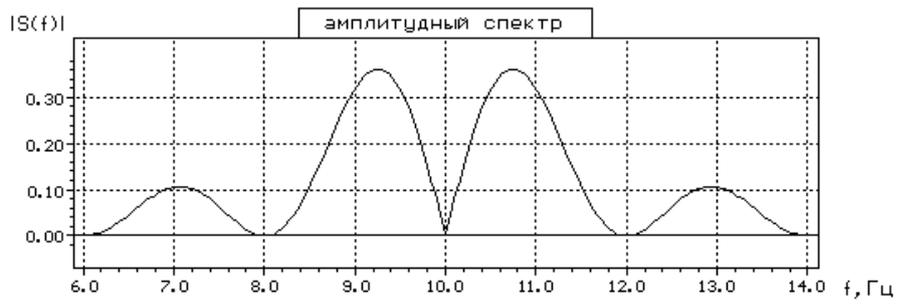
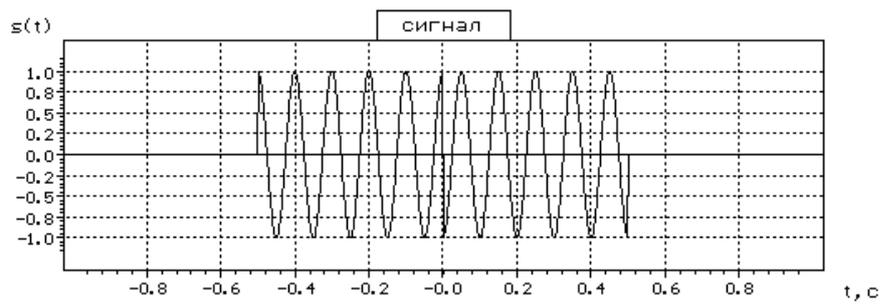
Проанализировать влияние вида сигнала и его параметров на амплитудный спектр.

3. По каждому пункту исследований сделать соответствующие выводы.

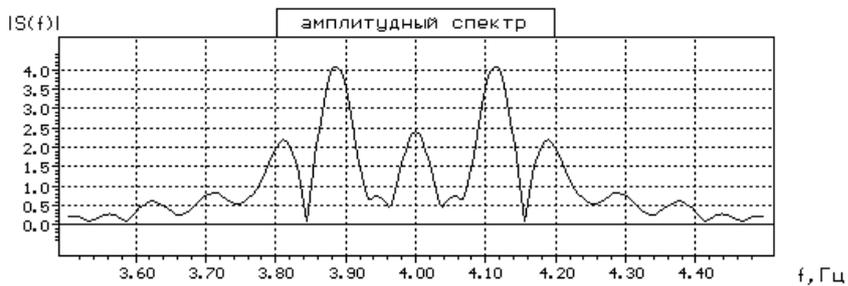
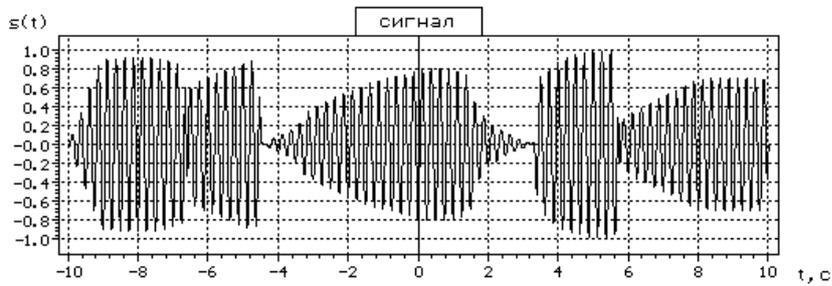
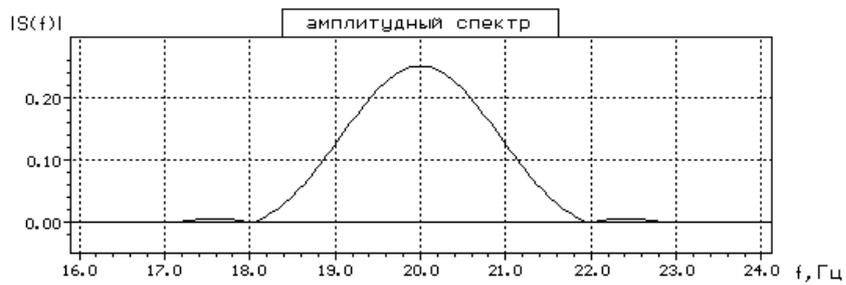
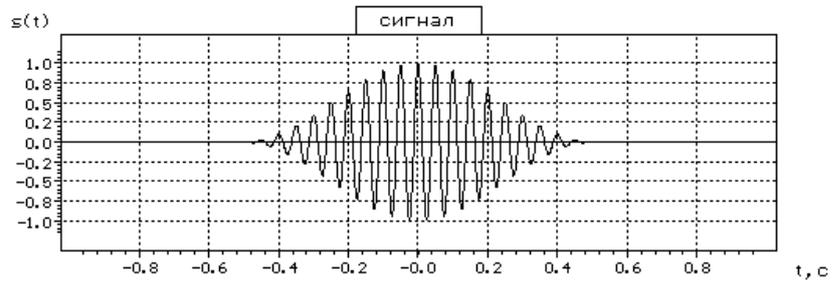
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### Радиоимпульсы из библиотеки сигналов





## Радиоимпульсы произвольного вида



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

### СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАДИОИМПУЛЬСОВ

1. В соответствии с выданным заданием определить амплитудный спектр периодической последовательности радиоимпульсов, огибающая которых описывается аналитическим выражением (из библиотеки сигналов).

Проанализировать влияние параметров сигнала, в том числе длительности импульсов, периода следования и несущей частоты на амплитудный спектр сигнала.

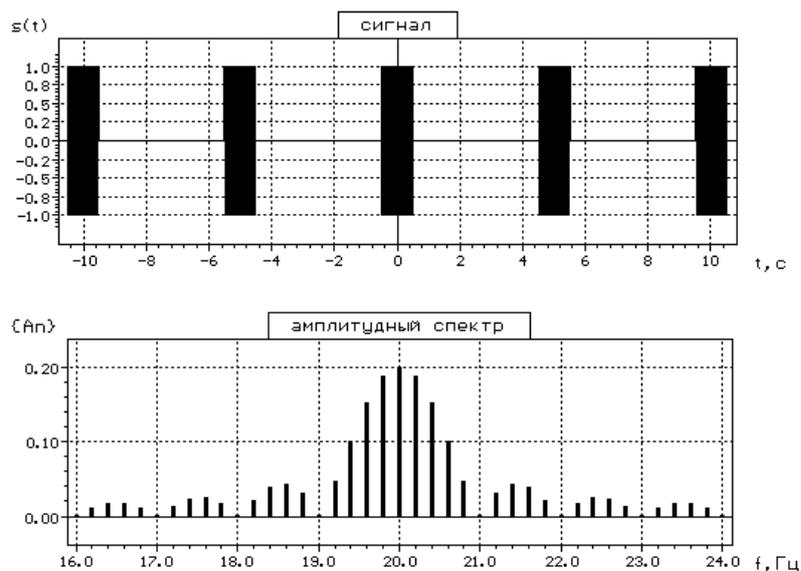
2. Задать периодическую последовательность радиоимпульсов произвольного вида, получить для них спектр.

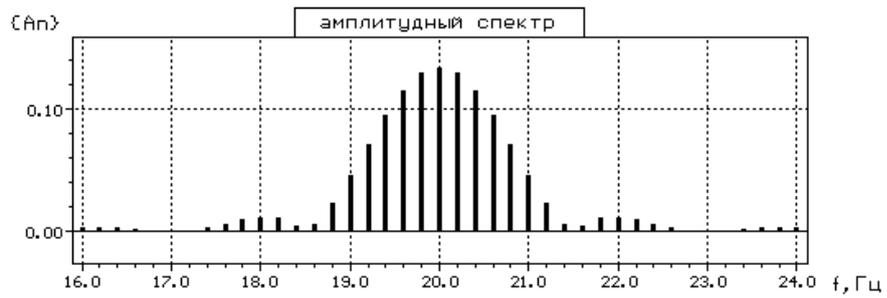
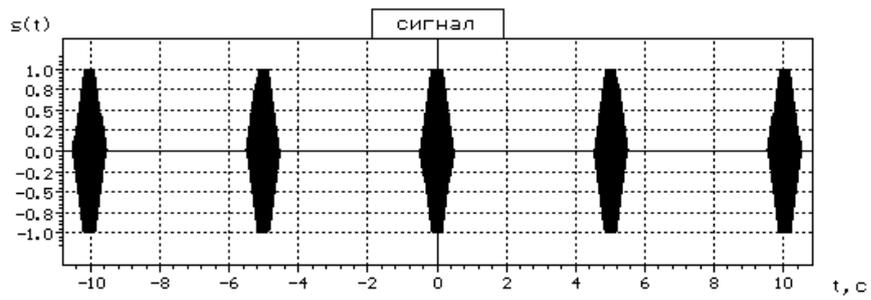
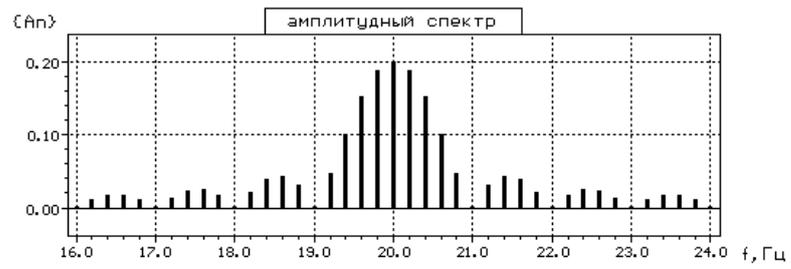
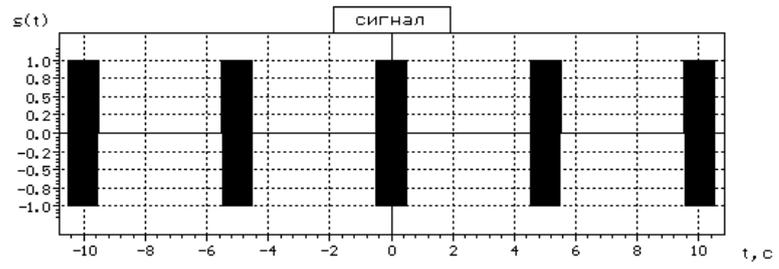
Проанализировать влияние вида сигнала и его параметров на амплитудный спектр.

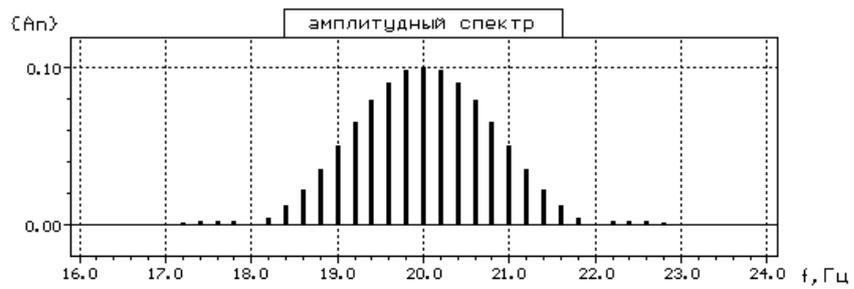
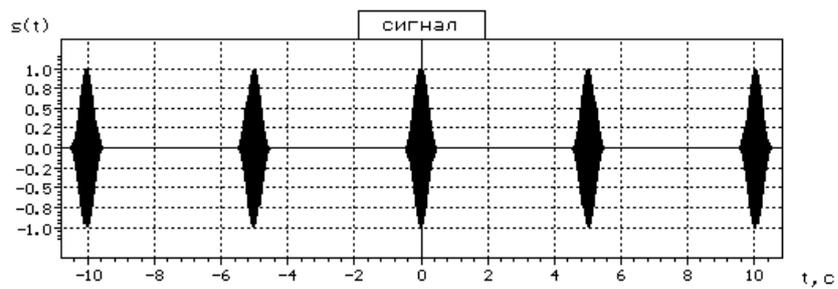
3. По каждому пункту исследований сделать соответствующие выводы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

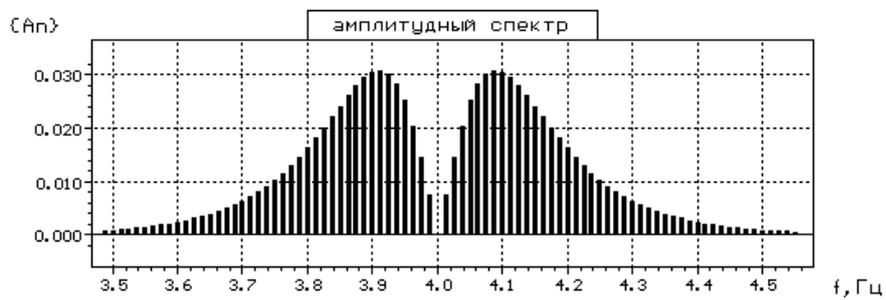
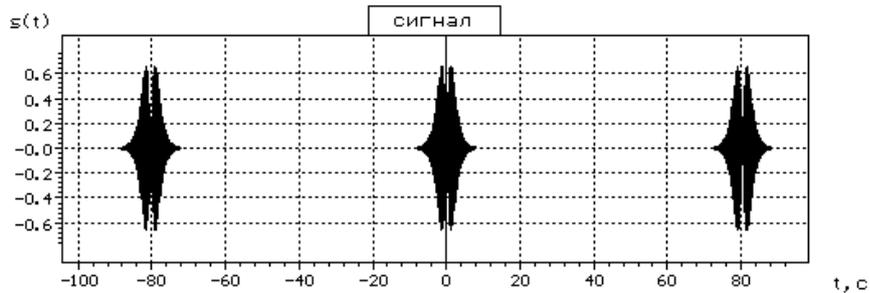
#### Импульсы из библиотеки сигналов

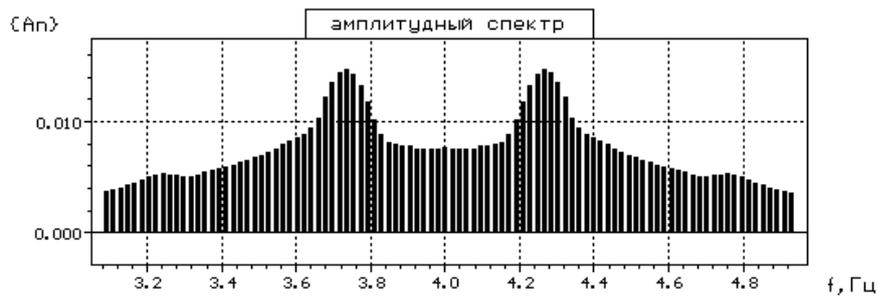
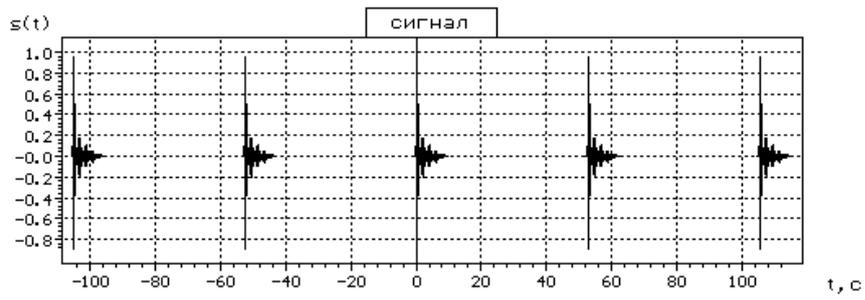
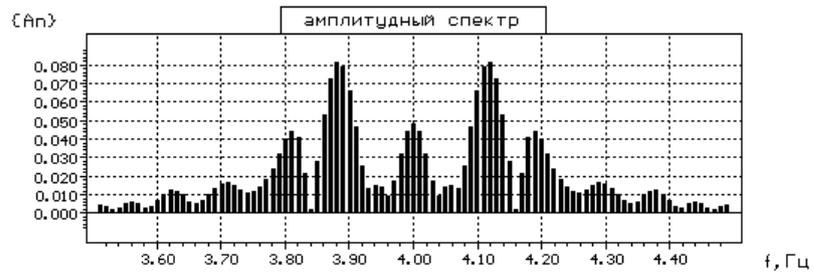
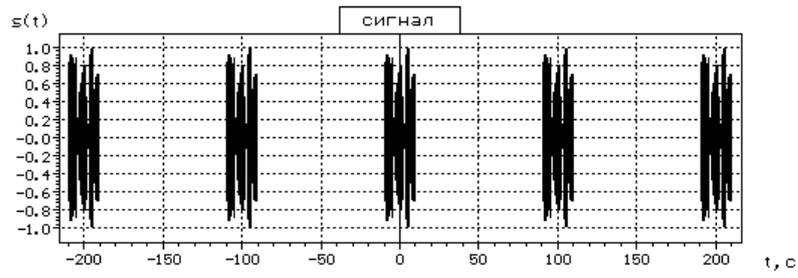






### Импульсы произвольного вида





**Образец**

Московский государственный технический университет гражданской  
авиации

**Кафедра ОРТЗИ**

**Отчет по лабораторной работе №**

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ**

Выполнил: студент 2-го курса гр.

Иванов И.И.

Преподаватель: Сидоров С.С.

Москва 200