Министерство образования РФ

Государственное образовательное учреждение

“Новгородский Государственный Университет имени Ярослава Мудрого”

###### Кафедра “Радиофизика и электроника”

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ И ИХ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Курсовая работа по дисциплине

“Радиотехнические цепи и сигналы ”

|  |  |
| --- | --- |
|  | Руководитель  \_\_\_\_\_\_\_Данильчук В.Л.  “\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2005 г  Студент группы  \_\_\_\_\_\_\_\_\_Швейкин Е.Ю.  “\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2005 г |

**Содержание**

Введение

1 Обозначения и сокращения

2 Задание на курсовую работу

3 Анализ сигналов

3.1 Видеосигнал

3.2 Периодическая последовательность видеосигналов

3.3 Радиосигнал

3.4 Аналитический сигнал, соответствующий радиосигналу

3.5 Дискретный сигнал, соответствующий видеосигналу

3.6 Сигнал представленный рядом Котельникова

3.7 Выводы

4 Анализ электрических цепей

4.1 Исследование апериодического звена

4.2 Исследование колебательного звена

5 Анализ прохождения сигнала через линейные цепи

5.1 Прохождение видеосигнала через апериодическое звено

5.2 Прохождение радиосигнала через апериодическое звено

5.3 Прохождение видеосигнала через колебательное звен

5.4 Прохождение радиосигнала через колебательное звено

Список литературы

**1.** **Введение**

Целью данной работы является практическое ознакомление с методами описания и анализа: детерминированных и случайных сигналов, линейных электрических цепей, прохождения детерминированных и случайных сигналов через линейные электрические цепи.

Необходимость практической работы такого плана обусловлено тем, что теория методов анализа сигналов и линейных систем многогранна, причем одни грани этой теории не могут быть рассмотрены отдельно от других, поэтому практическое ознакомление с методами анализа сигналов и систем поможет глубже понять и эти методы, а так же их взаимосвязь между собой.

Вторым аспектом является усвоение математического аппарата используемого при анализе сигналов цепей систем. Поскольку математический аппарат, применяемый при изучении курса радиотехнических цепей и сигналов, включает практически весь математический аппарат требуемый радиоинженеру.

В качестве третьего аспекта нельзя не отметить того, что при изучении курса усваивается большой объем терминологии, требуемый для дальнейшей работы и изучения научной литературы.

Хорошо развитая теория вопросов затрагиваемых в данной работе получает практическое применение благодаря совершенствованию вычислительных систем. Поэтому эта работа включает, где это наиболее целесообразно, как, например, при анализе прохождения сигналов через цепи, применение различных методов численного анализа.

Работа построена следующим образом.

Третий раздел посвящен методам описания и спектрального анализа: видеосигнала, периодической последовательности видеосигналов, радиосигнала соответствующего видеосигналу, аналитического сигнала соответствующего радиосигналу, дискретного сигнала соответствующего видеосигналу. При этом акцент делается на уяснение основных взаимосвязей между этими сигналами и их спектрами.

Четвертый раздел посвящен анализу апериодического и колебательного звена. Определяются их основные характеристики: операторный коэффициент передачи, передаточная функция, импульсная и переходная характеристики.

Пятый раздел посвящен анализу прохождения видео и радиосигнала через цепи, характеристики которых были найдены в предыдущем разделе.

Практически все исследуемые объекты иллюстрированы.

В заключении каждого раздела приводятся выводы о проведенном анализе.

**Обозначения и сокращения**

R - сопротивление

C - ёмкость

L - индуктивность

Um - амплитуда сигнала

Q - добротность колебательного контура

АЧХ - амплитудно-частотная характеристика

ФЧХ - фазо-частотная характеристика

t - время

ϕ - начальная фаза

ω - круговая частота

F(t)- видеосигнал

Fr(t)- радиосигнал

F(jω) - спектральная плотность видеосигнала

Fr (jω) - спектральная плотность радиосигнала

T - длительность периода

η(t) - функция Хевисайда

δ(t) - дельта-функция

g(t) - переходная характеристика цепи

h(t) - импульсная характеристика цепи

K(jω) - комплексный частотный коэффициент передачи цепи

K(p) - операторный коэффициент передачи цепи

ОПЛ – обратное преобразование Лапласа

# 2. Задание на курсовую работу

## 

## 2.1 Тема работы

Анализ радиотехнических сигналов и их прохождения через линейные цепи.

## 2.2 Цель работы

Анализ радиотехнических сигналов и линейных цепей методами математического моделирования.

## 2.3 Исходные данные

2.3.1 Видеосигнал – трапеция, определенная на промежутке времени от -Т/2 до Т/2, длительность боковых сторон Т/4. Амплитуда 1В.

2.3.2 Схема апериодического звена:

Г-образный четырехполюсник, где

Z1 - R,

Z2 – R1 параллельно С.

С=0.5 мкФ,

R1=1000 Ом,

RC=T.

2.3.2 Схема колебательного звена:

Г-образный четырехполюсник, где

Z1 – L последовательно С и параллельно R1,

Z2 – R.

С=20 пФ, L=1.5 мкГн.

Добротность колебательной системы равна 50, резонансная частота контура совпадает с частотой радиоимпульса.

2.4 Условия

Дополнительные условия отсутствуют.

## 2.5 Срок выдачи задания курсовую работу\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

## 2.6 Срок выполнения курсовой работы\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

### Задание выдал Задание получил

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**3 Анализ сигналов**

**3.1 Видеосигнал**

**3.1.1 Математическая модель видеосигнала**

Математическая модель видеосигнала f(t) имеет вид:

, (3.1)



где

- время, сек;



T – период сигнала, сек;

Um – амплитуда сигнала, В;

Используя единичную функцию Хевисайда, видеосигнал можно представить в следующем виде:

,(3.2)



Подставляя численные значения амплитуды (Um=1В) и периода (Т=35мс), в (3.2) построим график видеосигнала рисунок 3.1.



Рисунок 3.1- Видеосигнал

**3.1.2 Спектр видеосигнала**

Спектральную плотность видеосигнала находим с помощью прямого преобразования Фурье математической модели видеосигнала (3.2):

, (3.3)



где L – оператор Фурье;

F(jω) – спектральная плотность видеосигнала, В;

- циклическая частота, ;



j – мнимая единица.

Имеем:

, (3.4)



Используя подстановку , где f – частота Гц, преобразуем выражение (3.4) и перейдем к частоте в герцах.



(3.5)



Данные положения иллюстрируются графиком спектральной плотности видеосигнала рисунок 3.2.



Рисунок 3.2 - Спектральная плотность видеосигнала

**3.2 Периодическая последовательность видеосигналов**

**3.2.1 Математическая модель периодической последовательности видеосигналов**

Математическую модель периодической последовательности видеосигналов fT(t) можно представить в следующем виде:

, (3.6)



где

n – переменная суммирования, целое число.

Графическое изображение периодической последовательности видеоимпульсов приведено на рисунок 3.3.



Рисунок 3.3 - Периодическая последовательность видеосигналов.

**3.2.2 Спектр периодической последовательности видеосигналов**

Периодический сигнал может быть представлен рядом Фурье:

, (3.7)



где X[n] – коэффициенты ряда Фурье.

(3.8)



Согласно выражениям (3.8) и (3.9) периодический сигнал состоит из суммы бесконечного числа гармонических колебаний кратных частот (гармоник), вклад которых в общую сумму определяется весовыми коэффициентами X[n]. Таким образом, являясь амплитудами дискретных частотных компонентов (гармоник) составляющих данный сигнал, коэффициенты X[n] образуют дискретный спектр периодического сигнала рисунок 3.4. «Востановленный» с помощью ряда Фурье сигнал, при суммировании десяти первых гармоник, приведен на рис 3.5.



Рисунок 3.4 - Спектр периодического сигнала.



Рисунок 3.5 - Сигнал представленный рядом Фурье, первая и вторая гармоники (пунктирные линии).

**3.3 Радиосигнал**

**3.3.1 Математическая модель радиосигнала**

Радиосигнал с огибающей в форме видеосигнала находим из соотношения:

, (3.9)



где

- математическая модель радиосигнала, В;



f0 - частота несущего высокочастотного колебания, Гц;

- начальная фаза колебания, рад.



Найдем частоту несущего высокочастотного колебания f0, которая совпадает с резонансной частотой колебательного звена:

(3.10)



где

- индуктивность колебательного звена, Гн,



- значение емкости колебательного звена, Ф.



Подставляя численное значение частоты несущего высокочастотного колебания (f0=918,9 кГц), в (3.9) построим график радиосигнала рисунок 3.6.



Рисунок 3.6 - Радиосигнал

**3.3.2 Спектр радиосигнала**

Для отыскания спектральной плотности радиосигнала воспользуемся соотношением:

, (3.11)



где

- спектральная плотность видеосигнала (3.5) на соответствующих частотах, В;



Таким образом, подставляя в выражение (3.11) аналитическое выражение для спектральной плотности видеосигнала (3.5) , и принимаем .



Графическое изображение спектральной плотности радиосигнала приведено на рисунок 3.7. Как видно, при достаточно большом значении частоты несущего высокочастотного колебания, спектральная плотность радиосигнала представляет собой две симметричные копии спектра видеосигнала с половинной амплитудой перенесенные на частоту несущего колебания.



Рисунок 3.7 - Спектральная плотность радиосигнала

**3.4 Аналитический сигнал, соответствующий радиосигналу**

Аналитический сигнал, соответствующий реальному физическому сигналу , определяется соотношением:



, (3.12)



где

- функция, сопряженная по Гильберту выходному сигналу;



- реальный физический сигнал.



. (3.13)



Также аналитический сигнал может быть представлен через модуль аналитического сигнала



, (3.14)



и полную фазу (3.15)



в виде (3.16)



Для радиосигнала полную фазу можно записать в форме:

, (3.17)



где ω0 - частота несущего высокочастотного колебания, ;



Θ(t) - изменяющаяся во времени фаза, рад; Θ0 - постоянная во времени начальная фаза, рад. В этом случае аналитический сигнал определяется соотношением:



, (3.18)



где

-комплексная огибающая аналитического сигнала, соответствующего радиосигналу, В;



Заметим, что комплексная огибающая аналитического сигнала вещественна, то есть не имеет мнимой составляющей и представляет собой видеосигнал (3.2). Поэтому аналитический сигнал, соответствующий радиосигналу можно представить:



Спектральная плотность аналитического сигнала сосредоточена только в области положительных частот и находится из соотношения:



, (3.19)



где

- спектральная плотность радиосигнала (3.11)



Построим график спектральной плотности аналитического сигнала рисунок 3.8.



Рисунок 3.8 - Спектральная плотность аналитического сигнала

## 3.5 Дискретный сигнал, соответствующий видеосигналу

В соответствии с теоремой Парсеваля полная энергия сигнала равна:

, (3.20)



Ограничим спектр исходного видеосигнала некоторой граничной частотой fg, таким образом, что бы энергия сигнала, с «ограниченным спектром» была равна 99% энергии исходного сигнала. Находим граничную частоту по формуле, из условия:

, (3.21)



Получаем fg≈63,2 кГц.

Если теперь считать, что сигнал имеет спектр, наивысшая частота которого равна fg, то в соответствии с теоремой Котельникова, сигнал может быть полностью определен дискретными выборками, взятыми с частотой 2fg, называемой частотой дискретизации.

Найдем интервал дискретизации Td:

, (3.22)



Математическую модель дискретного fd(n) сигнала можно записать в следующем виде:

, (3.23)



где

n,k – целые числа;

f(kTd) – выборки из видеосигнала (3.2) кратные интервалу дискретизации;

δ(n) – единичный импульс определенный как:

, (3.24)



Графическое изображение дискретного сигнала fd(n) приведено на рисунок 3.9.



Рисунок 3.9 - Дискретный сигнал

Для отыскания спектральной плотности дискретного сигнала воспользуемся соотношением:

, (3.25)



где - спектральная плотность видеосигнала (3.5) на соответствующих частотах.



Модуль спектральной плотности дискретного сигнала приведен на рисунок 3.10.



Рисунок 3.10 - Модуль спектральной плотности дискретного сигнала, модуль спектральной плотности видеосигнала.

Таким образом, спектр дискретного сигнала периодичен по частоте, с периодом равным частоте дискретизации. Если эффект наложения спектров отсутствует, то в полосе частот от минус половина частоты дискретизации до плюс половина частоты дискретизации, спектр дискретного сигнала равен спектру аналогового сигнала. Для случая приведенного на рисунок 3.11 это условие не выполняется. Поэтому восстановленный сигнал будет искажен рисунок 3.11.

**3.6 Сигнал представленный рядом Котельникова**

Получить сигнал, определенный в любой момент времени (аналоговый сигнал fa(t)) можно используя интерполяционную формулу:

, (3.26)



Данный ряд называется рядом Котельникова и позволяет полностью восстановить аналоговый сигнал fa(t) из дискретных выборок этого сигнала, если сигнал fa(t) имеет ограниченный спектр с максимальной частотой fg, и если выборки взяты с частотой не меньшей 2fg. Поскольку сигнал, подвергнутый дискретизации (3.2), имеет неограниченный спектр (3.5), то восстановление сигнала (3.26) по его выборкам (3.23), будет неточным. Уменьшить ошибку до любого уровня можно увеличивая частоту дискретизации. Сигнал восстановленный с помощью выражения (3.26), приведен на рисунок 3.11.



Рисунок 3.11 - Сигнал представленный рядом Котельникова.

**3.7 Выводы**

Анализируя формулы и графики, приведенные в разделе 3 можно сделать несколько выводов:

1) Ширина спектра зависит от длительности импульса: чем короче сигнал, тем шире спектр и наоборот.

2) Огибающая спектра периодического сигнала имеет форму спектральной плотности одиночного сигнала.

3) Спектр амплитудно-модулированного радиосигнала представляет собой фактически спектр модулирующего видеосигнала, смещенный по оси частот на (f0)ω0.

4) Спектр дискретного сигнала представляет собой сумму спектров видеосигнала смещенных друг относительно друга на n⋅2⋅fg.

**4 Анализ электрических цепей**

**4.1 Исследование апериодического звена**



Рисунок 4.1 – Электрическая принципиальная схема апериодического звена.

R1=1000 Ом

C=0.5 мкФ



**4.1.1 Комплексный частотный коэффициент передачи апериодического звена**

Найдем математическое выражение для комплексного частотного коэффициента передачи, исходя из схемы приведенной на рисунке 4.1:

(4.1)



Из формулы (4.1) легко получить АЧХ и ФЧХ апериодического звена.

АЧХ можно получить, взяв модуль комплексного частотного коэффициента передачи.

ФЧХ вычислим по формуле (4.2).

(4.2)



Построим графики АХЧ и ФЧХ:



Рисунок 4.2– АЧХ апериодического звена



Рисунок 4.3– ФЧХ апериодического звена

**4.1.2 Операторный коэффициент передачи**

Запишем операторный коэффициент передачи для апериодического звена

. (4.3)



**4.1.3 Импульсная характеристика апериодического звена**

Импульсная характеристика цепи определяется как реакция цепи на входной сигнал в виде дельта-функции.

Импульсная характеристика находится ОПЛ от операторного коэффициента передачи. ОПЛ определяется следующим образом:

. (4.4)



Однако на практике при расчетах операторным методом пользуются таблицами прямых и обратных преобразований Лапласа. Это в значительной мере облегчает вычисления. Вычислив обратное преобразование Лапласа от операторного коэффициента передачи его получим:

. (4.5)



Рисунок 4.4– Импульсная характеристика апериодического звена

**4.1.4 Переходная характеристика апериодического звена**

Переходная характеристика цепи представляет собой реакцию цепи на сигнал в виде функции Хевисайда. В общем случае переходная характеристика находится как:

, (4.6)



где *L*-1 – обратное преобразование Лапласа.

Вычислив выражение (4.6) получим:

. (4.7)



Рисунок 4.5– Переходная характеристика апериодического звена

**4.2 Исследование колебательного звена**



**R1**

Рисунок 4.6 - Схема электрическая принципиальная колебательного звена

L=1.5 мкГн

С=20.000 пФ

Q=50

Для последовательного колебательного контура справедлива формула:

,



Выразив Rполучим и подставив численные значения Q, L и C найдем R=0,173 Ом.

### 4.2.1 Комплексный частотный коэффициент передачи колебательного звена

Найдем математическое выражение для комплексного частотного коэффициента передачи, исходя из схемы приведенной на рисунке 4.6:

. (4.8)



Из формулы (4.8), как и для апериодического звена, можно легко получить АЧХ и ФЧХ колебательного звена.



Рисунок 4.7 – АЧХ колебательного звена



Рисунок 4.8 – ФЧХ колебательного звена

### 4.2.2 Операторный коэффициент передачи

Запишем операторный коэффициент передачи для колебательного звена:

(4.9)



**4.2.3 Импульсная характеристика колебательного звена**

Импульсная характеристика находится как ОПЛ от операторного коэффициента передачи, найдем его при помощи MathCad:

(4.10)



Ниже приведено графическое изображение импульсной характеристики:



Рисунок 4.9– Импульсная характеристика колебательного звена

### 4.2.4 Переходная характеристика колебательного звена

Переходную характеристику найдем по формуле (4.6) при помощи MathCad.

(4.11)



Рисунок 4.10 – Переходная характеристика колебательного звена

**5. Анализ прохождения сигналов через линейные цепи**

Для нахождения отклика цепи на входящий сигнал в радиотехнике применяются различные методы, такие как:

* временной
* спектральный
* операторный

При расчетах в пакете MathCAD 2001 мы использовали спектральный метод. Суть данного метода можно представить в виде обратного преобразования Фурье:

, (5.1)



где y(t)- сигнал на выходе цепи,

F(jw) – спектральная плотность входного сигнала,

K(jw) – комплексный коэффициент передачи цепи.

**5.1 Прохождение видеосигнала через апериодическое звено**

Выходной сигнал можно представить в виде:

(5.2)



где у1(t) *–* отклик апериодического звена на видеосигнал f(t*)*

F(jw) – спектральная плотность входного видеосигнала,

K1(jw) – комплексный коэффициент передачи апериодического звена.

Сигнал на выходе апериодического звена при прохождении видеосигнала представлен на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 - Отклик апериодического звена на видеосигнал

Следует отметить что форма сигнала несколько исказилась.

Объясняется это тем, что в диапазоне частот видеосигнала данная цепь имеет слабо неравномерный коэффициент пропускания, при этом большая часть гармоник сигнала (низкочастотных) проходит без изменений, а некоторая часть - ослабляется. Для большей наглядности изобразим F(jω) и K1(jω)на одном графике (рисунок 5.2):



Рисунок 5.2 – Значение K1(jω)на диапазоне частот видеосигнала

В результате неравномерности коэффициента пропускания в спектре выходного сигнала происходит изменение соотношения энергий гармоник, что приводит к некоторому искажению формы сигнала.

Рисунок 5.3 – Спектр входного f(t) и выходного сигнала y1(t)



**5.2 Прохождение радиосигнала через апериодическое звено**

Выходной сигнал можно представить в виде:

. (5.3)



где уr1(t) – отклик апериодического звена на радиосигнал Fr(t)

Fr(jw) – спектральная плотность входного радиосигнала,

K1(jw) – комплексный коэффициент передачи апериодического звена.

Изобразим сигнал yr1(t) графически:



Рисунок 5.4 - Отклик апериодического звена на радиосигнал

Анализируя рисунок 5.4, делаем вывод: на выходе апериодического звена радиосигнал подавлен.

Объясняется это тем, что в диапазоне частот радиосигнала данная цепь имеет практически постоянный коэффициент пропускания приблизительно равный нулю. Для большей наглядности изобразим Fr(jω) и K1(jω)на одном графике:



Рисунок 5.5 – Значение K(jω)на диапазоне частот радиосигнала.

**5.3 Прохождение видеосигнала через колебательное звено**

Выходной сигнал можно представить в виде:

. (5.4)



где у2(t) *–* отклик колебательного звена на видеосигнал f(t*)*

F(jω) – спектральная плотность входного видеосигнала,

K2(jω) – комплексный коэффициент передачи колебательного звена.

Отклик колебательного звена на видеосигнал изображен на рисунке 5.6



### Рисунок 5.6 – Отклик колебательного звена на видеосигнал

На выходе видеосигнал подавлен, так как на частотах видеосигнала колебательное звено имеет коэффициент пропускания равный нулю. Для большей наглядности изобразим F(jω) и K2(jω)на одном графике:



Рисунок 5.7 – Значение F(jω) и K2(jω).

**5.4 Прохождение радиосигнала через колебательное звено**

Выходной сигнал можно представить в виде:

. (5.5)



где уr2(t) – отклик апериодического звена на радиосигнал Fr(t)

Fr(jω) – спектральная плотность входного радиосигнала,

K2(jω) – комплексный коэффициент передачи апериодического звена.

Изобразим сигнал yr2(t) графически:



Рисунок 5.8 – Отклик колебательного звена на радиосигнал

Сигнал построен не точно, в результате того, что точность системы MathCad ограничена (увеличение точности ведет к неприемлемо большому увеличению времени обработки) .

Сигнал на выходе должен мало отличаться по форме и по амплитуде от входного. Это связано с тем, что колебательное звено, являющееся широкополосным резонансным фильтром, имеет на резонансной частоте коэффициент передачи равный единице. Для большей наглядности изобразим Fr(jω) и K2(jω)на одном графике:



Рисунок 5.9 – Значения Fr(jω) и K2(jω)*.*

**Заключение**

В ходе выполнения курсовой работы был произведен анализ заданных сигналов и радиотехнических цепей, а также проанализировано прохождение сигналов через апериодическую и колебательную цепи. Кроме того, при выполнении данной работы мною изучены основные математические методы анализа цепей и сигналов.

При вычислении спектров сигналов и расчете прохождения сигналов через цепи, оказалось, достаточно удобно вычислять прямое и обратное преобразование Фурье при помощи численных методов, так как аналитическое выражение получается только для относительно простых сигналов и цепей.

Анализируя формулы и графики, приведенные в разделе 3 можно сделать несколько выводов:

- Ширина спектра зависит от длительности импульса: чем короче сигнал, тем шире спектр и наоборот.

- Огибающая спектра периодического сигнала имеет форму спектральной плотности одиночного сигнала.

- Спектр амплитудно-модулированного радиосигнала представляет собой фактически спектр модулирующего видеосигнала, смещенный по оси частот на (f0).



Анализируя формулы и графики приведенные в разделе 5 также можно сделать несколько выводов:

-при прохождении через апериодическое звено видеосигнал слабо исказится.

-при прохождении через апериодическое звено радиосигнал будет полностью подавлен (см. рисунки 5.4 и 5.5).

-при прохождении через колебательное звено видеосигнал будет полностью подавлен (см. рисунки 5.6 и 5.7).

-при прохождении через колебательное звено радиосигнал не значительно исказится (см. и рисунки 5.8 и 5.9).

**Список литературы**

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: “Высшая школа”, 1988. – 448с.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач - М.: “Высшая школа”, 1987. – 208с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: “Советское радио” , 1971. – 672с.
4. Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи: Учеб. пособие для вузов/Г.Г. Галустов, И.С. Гоноровский, М.П. Демин и др.; под ред. И.С.Гоноровского.- М.:Радио и связь, 1989.-248 с.