Министерство образования РФ

Государственное образовательное учреждение

«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»

Кафедра «Радиофизика и электроника»

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ И ПРОХОЖДЕНИЕ ИХ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Курсовая работа по дисциплине «Радиотехнические цепи и сигналы»

Н. контроль Руководитель

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В. А. Дубровская д.т.н., профессор

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2001г. \_\_\_\_\_А. Т. Трофимов

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2001г.

###### Студент группы 9341

\_\_\_\_\_\_\_\_К.В. Прокопьева

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2001г.

## Великий Новгород

2001

#### СОДЕРЖАНИЕ

1 Задание на курсовую работу 3

1.1 Цель работы 3

1.2 Заданные параметры 3

2 Анализ формы сигнала 4

2.1 Математическая модель видеосигнала и его спектр 4

2.2 Математические модели сигналов, соответствующих заданному видео сигналу, и их спектры 6

* + 1. Периодическая последовательность видеосигналов 6

2.2.2 Радиосигнал с огибающей в форме видеосигнала 8

2.2.3 Аналитический сигнал, соответствующий радиосигналу 9

2.2.4 Дискретный сигнал 10

2.3. Вывод 12

1. Анализ электрических цепей 13
   1. Апериодическое звено 14
   2. Колебательное звено 16
2. Анализ прохождения сигналов через цепи 19
   1. Прохождение видеосигнала через апериодическое

и колебательное звено 19

* 1. Прохождение радиосигнала через апериодическое

и колебательное звено 20

1. Анализ прохождения случайного сигнала через линейные цепи 21
   1. Анализ прохождения случайного сигнала через

апериодическое звено 21

* 1. Анализ прохождения случайного сигнала через

колебательное звено 22

1. Заключение 24
2. Список литературы 25

##### 1 ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

R - сопротивление

C - ёмкость

L - индуктивность

А - амплитуда сигнала

Q - добротность колебательного контура

σ(t) - функция Хевисайда, которая определяется как:

 (1.1)

t - время

ω - круговая частота

АЧХ - амплитудно-частотная характеристика

ФЧХ - фазо-частотная характеристика

g(t) - переходная характеристика цепи

h(t) - импульсная характеристика цепи

K(jω) - комплексный частотный коэффициент передачи цепи

K(p) - операторный коэффициент передачи цепи

2 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

## Студенту группы 9341 Прокопьева К.В.

Учебная дисциплина “Радиотехнические цепи и сигналы”

## 2.1 Тема работы

Анализ радиотехнических сигналов и их прохождение через линейные цепи.

## 2.2 Цель работы

Анализ радиотехнических сигналов и линейных цепей методами математического моделирования .

## 2.3 Исходные данные

2.3.1 Видеосигнал – полином Чебышева третьей степени, определенный на интервале времени (-T,T), где T=35 мкс.

2.3.2 Схема апериодического звена:

Г-образный четырехполюсник, где

Z1 - C параллельно R1,

Z2 - R.

RC=T, С=0.5 мкФ, R1=103R.

2.3.2 Схема колебательного звена:

Г-образный четырехполюсник, где

Z1 - L последовательно C параллельно R1,

Z2 - R.

С=20000 пФ, L=1.5 мкГн, R1=104R.

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

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

2 АНАЛИЗ ФОРМЫ СИГНАЛА

* 1. Математическая модель видеосигнала и его спектр

Выражение для определения полиномов Чебышева (третьего рода) и полином Чебышева третьего порядка представлены формулами (2.1.1) и (2.1.2) соответственно.



(2.1.2)

(2.1.1)

T3(x) = (4\*x3-3\*x)

Математическая модель видеосигнала представляет собой промасштабированный полином Чебышева третьего порядка. Масштабирование осуществляется путем замены переменной x на новую переменную kt. Коэффициент k выбирается так, чтобы выполнялось условие kt=1 при t=T и kt=-1 при t=-T (так как функция Чебышева ортогональна при -1<x<1). Параметр Т задан и , значит k=1/T.

После масштабирования полином Чебышева примет вид, представленный в формуле (2.1.3).

(2.1.3)

T3(x) = 4\*(t/T)3-3\*(t/T)

Математическая модель видеосигнала будет описываться функцией, представленной в формуле (2.1.4) на промежутке t∈[-T, T]. Окончательная модель видеосигнала имеет вид:



(2.1.4)

Так как большинство расчётов будет производиться преимущественно численными методами с помощью специализированного программного обеспечения, то математическую модель видеосигнала можно записать с помощью единичной функции. Это приведено в формуле (2.1.5).



(2.1.5)

Графическое изображение модели видеосигнала приведено в приложении А на рисунке А.1

Спектральную плотность видеосигнала находится с помощью прямого преобразования Фурье математической модели видеосигнала:

(2.1.6)



где  - оператор Фурье;

 - спектральная плотность видеосигнала, ;

 - частота, .

Спектральная плотность видеосигнала находится по формуле (2.1.7).



(2.1.7)

Графики спектральной плотности для заданного видеосигнала изображён в приложении А на рисунке А.2

* 1. Математические модели сигналов, соответствующих заданному видео сигналу, и их спектры
     1. Периодическая последовательность видеосигналов

Математическая модель периодической последовательности видеосигналов, изображенная в приложении А на рисунке А.3, вычисляется по формуле (2.2.1.1)



(2.2.1.1)

где Sp(t) - математическая модель периодической последовательности видеосигналов;

s(t) – математическая модель видеосигнала;

- период повторения видеосигналов.

График периодической последовательности видеосигналов изображён в приложении А на рисунке А.3

Спектр периодической последовательности видеосигналов вычисляется по формуле (2.2.1.2)



(2.2.1.2)



(2.2.1.3)

где ;

.

График спектральной плотности периодической последовательности видеосигналов изображён в приложении А на рисунке А.4

2.2.2. Радиосигнал с огибающей в форме видеосигнала.

Выражение для радиосигнала с огибающей в форме видеосигнала представлено в формуле (2.2.2.1).



где s(t) – огибающая радиосигнала;

(2.2.2.1)

 - начальная фаза колебания;

 - частота колебания.

Частота радиосигнала совпадает с резонансной частотой колебательного звена, которая определяется по формуле (2.2.2.2).



(2.2.2.2)

Значения L и С в формуле (2.2.2.2) берутся из задания на курсовую работу. В итоге имеем рад\*МГц.

Графическое изображение радиосигнала приведено в приложении А на рисунке А.5

Спектральная плотность радиосигнала определяется по формуле (2.2.2.3)



(2.2.2.3)

График модуля спектральной плотности радиосигнала приведён в приложении А на рисунке А.6

2.2.3. Аналитический сигнал, соответствующий радиосигналу.

Аналитический сигнал Z(t), соответствующий реальному физическому сигналу s(t), определяется по формуле (2.2.3.1).

(2.2.3.1)



(2.2.3.2)

где  - функция, сопряжённая по Гильберту исходному сигналу s(t).

Если исходный сигнал записан в форме



(2.2.3.3)

то сопряженная функция будет такой:



Аргумент синуса  определяется по формуле (2.2.3.4).

(2.2.3.4)



где - частота несущего высокочастотного колебания;

- изменяющаяся во времени фаза;

 - постоянная во времени начальная фаза.

Примем =0 и =0, поэтому .

Исходя из всего вышесказанного, аналитический сигнал можно записать в виде, представленном формулой (2.2.3.5).

(2.2.3.5)



Спектр  сопряжённого по Гильберту сигнала определяется по формуле (2.2.3.6).

(2.2.3.6)



Следовательно, спектр аналитического сигнала определяется по формуле (2.2.3.7).



(2.2.3.7)

* + 1. Дискретный сигнал

Для представления видеосигнала в дискретном виде по теореме Котельникова необходимо найти значение верхней частоты сигнала. Это можно сделать через его энергию.

Полную энергию видеосигнала можно найти двумя способами: используя его математическую модель или через энергетический спектр.

Найти полную энергию видеосигнала с помощью математической модели видеосигнала можно по формуле (2.2.4.1).



(2.2.4.3)

(2.2.4.2)

(2.2.4.1)

Энергетический спектр сигнала определяется по формуле (2.2.4.2).



Полная энергия сигнала с использованием его энергетического спектра представлена в формуле (2.2.4.3).



Надо найти такое значение , при котором 90 процентов энергии видеосигнала сосредоточено в полосе частот , другими словами, выполняется равенство:



(2.2.4.4)

Наиболее простым методом решения этого уравнения является графический, результаты которого приведены в приложении А на рисунке А.8

В итоге, верхняя частота сигнала равна рад\*Гц.

По значению верхней частоты определяем интервал  между двумя отсчетными точками на оси времени.



(2.2.4.5)

По этому интервалу определяем число отсчётных точек.



(2.2.4.6)

По формулам (2.2.4.5) и (2.2.4.6) получили значения  секунд и . По этим значениям определяем видеосигнал в дискретном виде по формуле (2.2.4.7).



(2.2.4.7)

Графическое изображение дискретного видеосигнала приведено в приложении А на рисунке А.7

2.3. Вывод

На основании проделанного анализа можно сделать следующие выводы:

* Для теоретического исследования сигналов необходимо построить их математические модели;
* спектральное представление импульсных сигналов осуществляется путём разложения их в интеграл Фурье;
* при переходе от видеоимпульса к радиоимпульсу при спектральном подходе означает перенос спектра видеоимпульса в область высоких частот – вместо единственного максимума спектральной плотности при ω=0 наблюдается два максимума при ω=±ω;абсолютные значения максимумов сокращаются вдвое;
* чем меньше длительность импульса, тем шире его спектр. Под шириной спектра понимают частотный интервал, в пределах которого модуль спектральной плотности не меньше некоторого наперёд заданного уровня, например уровня от |S|max до 0.1|S|max.

1. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

3.1 Вид сигнала

Вид сигнала – полином Чебышева третьей степени, определённый на интервале времени (-Т, Т), где Т=35 мкс.

3.2 Схема цепи

Схема цепи изображена на рисунке 3.2.1

Z1

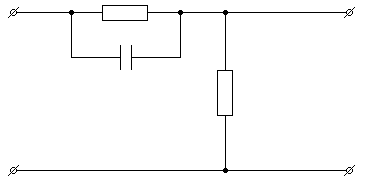
Z2

Рисунок 3.2.1 – Схема цепи

3.3 Апериодическое звено

Схема апериодического звена изображена на рисунке 3.3.1.

R1



R

С

Рисунок 3.3.1 - Схема апериодического звена

Параметры цепи

С=0.5мкФ, RC=T, R1=103R, T=3.5⋅10-5сек.

Найдём R и R1:

** (**3.3.1**)**

. (3.3.2)

Комплексный частотный коэффициент передачи цепи определяется по формуле (3.3.3), как отношение выходного комплексного сопротивления к входному

. (3.3.3)

Комплексный частотный коэффициент передачи апериодического звена

Найдем комплексный частотный коэффициент передачи апериодического звена:

 (3.3.4)

Из формулы (3.3.4) найдём АЧХ:

 (3.3.5)

Из формулы (3.3.5) найдём ФЧХ:

. (3.3.6)

Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики апериодического звена показаны в приложении Б на рисунках Б.1 и Б.2 соответственно.

Операторный коэффициент передачи получаем из комплексного частотного коэффициента путём замены jw на р.

 (3.3.7)

Импульсная характеристика h(t) это реакция цепи на дельта-импульс δ(t). Удобнее всего искать ее в операторной форме.

Изображение δ(t) в операторной форме имеет вид, приведённый в формуле (3.3.8).

δ(t) → 1

(3.3.8)

Импульсную характеристику цепи найдём через обратное преобразование Лапласа, результат которого приведён в формуле (3.3.9).

 (3.3.9)

Графическое изображение импульсной характеристики апериодического звена приведено в приложении Б на рисунке Б.3

Переходная характеристика g(t) представляет собой реакцию цепи на единичную ступеньку σ(t). Изображение σ(t) в операторной форме имеет вид:



(3.3.10)

Сигнал на выходе в операторной форме, когда на входе единичная ступенька σ(t) имеет вид:

(3.3.11)



В итоге, переходная характеристика приведена в формуле (3.3.12).



(3.3.12)

Графическое изображение переходной характеристики апериодического звена приведено в приложении Б на рисунке Б.4

* 1. Колебательное звено.

Схема колебательного звена приведена на рисунке 3.4.1

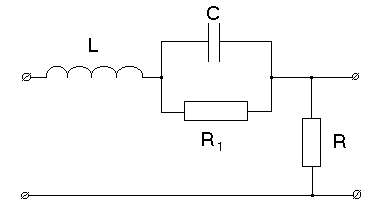


Рисунок 3.4.1 – Схема электрическая принципиальная колебательного контура

Параметры цепи

L=1.5мкГн=1.5⋅10-6Гн, C=20000пФ=2⋅10-8Ф,

Q=50, R1=103R, fр=f0

Найдём R и R1. Для этого преобразуем параллельное соединение C и R1 в последовательное соединение Сэкв и Rэкв.

Допустим R1>>Rc, где R1 – сопротивление резистора R1, Rc – реактивное сопротивление конденсатора, тогда Сэкв≈С.

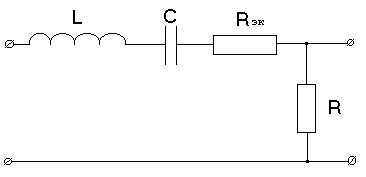
Эквивалентная схема приведена на рисунке 3.4.2

Рисунок 3.4.2 – Эквивалентная схема колебательного звена

Резонансная частота последовательного колебательного контура определяется формулой:

. (3.4.1)

. (3.4.2)

Характеристическое сопротивление контура – сопротивление каждого из реактивных элементов при резонансе:

. (3.4.3)

. (3.4.4)

Переходя к эквивалентной схеме определяют Rэкв по формуле:

. (3.4.5)

Rпос=R+Rэк . (3.4.6)

Подставив все значения в формулу (3.4.4):

Ом. (3.4.7)

Подставляем (3.4.5) в (3.4.4) и учитывая, что R1=103⋅R, получаем:

, (3.4.8)

. (3.4.9)

R=0.087Ом. Следовательно, R1=870 Ом.

870 Ом >> 8.66 Ом (3.4.10)

Комплексный частотный коэффициент передачи цепи определяется по аналогии с апериодическим звеном по формуле (3.3.3).

(3.4.11)

коэффициент передачи колебательного звена.

 (5.8)

Для АЧХ имеем:

. (5.9)

Для ФЧХ имеем:

. (5.10)

Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики колебательного звена показаны на рисунках в приложении В на рисунках В.1 и В.2

Операторный коэффициент передачи получаем путём замены iw на р по аналогии с апериодическим звеном.



Передаточная функция колебательного звена имеет вид:

, (5.18)

где

 , (5.19)

. (5.20)

Импульсная характеристика колебательного звена определяется преобразованием Лапласа от операторной передаточной функции.

 (5.21)

Графические изображения импульсной и переходной характеристик колебательного звена приведены в приложении В на рисунках В.3 и В.4

1. АНАЛИЗ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЦЕПИ

Анализ прохождения сигнала через апериодическое и колебательное звено будет производиться при помощи спектрального метода. Суть этого метода заключается в том, что если известен спектр сигнала на входе цепи и известен комплексный коэффициент передачи, то можно легко определить спектр сигнала на выходе цепи по формуле (4.1).

(4.1)



(4.2)

После того как получен спектр сигнала на выходе, надо выполнить обратное преобразование Фурье (формула (4.2)) и в результате получится сигнал на выходе.



* 1. Прохождение видеосигнала через апериодическое и колебательное звено

Графические изображения сигналов на выходе апериодического и колебательного звена при действии на вход видеосигнала приведены в приложении Г на рисунках Г.1 и Г.3

* 1. Прохождение радиосигнала через апериодическое и колебательное звено

Графические изображения сигналов на выходе апериодического и колебательного звена при действии на вход радиосигнала приведены в приложении Г на рисунках Г.2 и Г.4

5 АНАЛИЗ ПРОХОЖДЕНИЯ СЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Энергетический спектр белого шума на входе цепи постоянен, и определяется формулой (5.1), а спектр белого шума на выходе – формулой (5.2).

(5.1)



где  - энергетический спектр белого шума на входе;

- частота.

(5.2)

(5.2)



(5.1.1)

где  - энергетический спектр белого шума на выходе.

Автокорреляция сигнала определяется по формуле (5.3).



(5.3)

Интеграл 5.3 не берётся в элементарных функциях, поэтому будем его считать в дискретном виде через обратное дискретное преобразование Фурье.

5.1 Анализ прохождения случайного сигнала через апериодическое звено

Энергетический спектр сигнала на выходе апериодического звена определяется по формуле (5.1.1).



, где K(w)- комплексный коэффициент передачи апериодического звена.

В итоге, график корреляционной функции апериодического звена изображён в приложении Д на рисунке Д.1

* 1. Анализ прохождения случайного сигнала через колебательное звено

Энергетический спектр сигнала на выходе колебательного звена приведён формуле (5.2.1).



, где K(w)- комплексный коэффициент передачи колебательного звена.

В итоге, график корреляционной функции колебательного звена изображён в приложении Д на рисунке Д.2

Энергетический спектр белого шума на входе цепи постоянен, и определяется формулой (5.1), а спектр белого шума на выходе – формулой (5.2).



где  - энергетический спектр белого шума на входе;

- частота.



(5.1.1)

(5.3)

(5.1)

где  - энергетический спектр белого шума на выходе.

Автокорреляция сигнала определяется по формуле (5.3).

(5.2)



Интеграл 5.3 не берётся в элементарных функциях, поэтому будем его считать в дискретном виде через обратное дискретное преобразование Фурье.

6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

(5.1.3)

В данной работе проводился анализ сигналов, спектров, характеристик электрических цепей. Оказалось, что, чем меньше длительность сигнала и чем больше его математическая модель имеет резких перепадов, тем шире получается его спектральная плотность. Дискретизация сигнала позволяет ограничить ширину спектра, но вносит искажения в форму сигнала при его восстановлении. 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.

### 7 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

7.1 Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 1988 - стр.

7.2 Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 1987 - стр.

7.3 Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи. Под. Ред. Гоноровского И.С. – М.: Радио и связь, 1989 - стр.

7.4 Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Советское радио, 1977 – 672 стр.

7.5 Трофимов А.Т. Радиотехнические цепи и сигналы. – Новгород, 1982

- 103 стр.