Содержание

[**1** **Исходные данные** 3](#_Toc105758192)

[**2** **Порядок расчета** 3](#_Toc105758193)

[**2.1** **Получение передаточной функции усилителя и построение его динамических характеристик** 3](#_Toc105758194)

[2.1.1 Выбор операционного усилителя 3](#_Toc105758195)

[**2.2** **Получение передаточной функции фильтра нижних частот и построение его динамических характеристик** 11](#_Toc105758196)

[**2.3** **Получение передаточной функции типового звена и построение его динамических характеристик** 20](#_Toc105758197)

[**2.4 Получение общей передаточной функции системы** 27](#_Toc105758198)

[2.4.1 Преобразование схемы 27](#_Toc105758199)

[2.4.2 Передаточная функция замкнутой системы по управлению 28](#_Toc105758200)

[2.4.3 Передаточная функция разомкнутой системы 30](#_Toc105758201)

[2.4.4 Передаточная функция замкнутой системы по возмущению 31](#_Toc105758202)

[2.4.5 Передаточная функция замкнутой системы по ошибке 32](#_Toc105758203)

[**2.5 Получение выходного сигнала системы y(t)** 33](#_Toc105758204)

[**2.6 Получение аналитических выражений для АФХ, АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ всей исследуемой системы.** 34](#_Toc105758205)

[**Заключение** 38](#_Toc105758206)

[**Список использованных источников** 39](#_Toc105758207)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ А** 40](#_Toc105758208)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ Б** 43](#_Toc105758209)

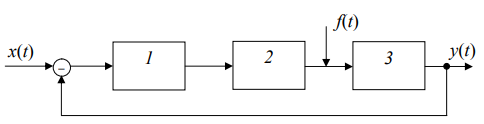
[**ПРИЛОЖЕНИЕ В** 46](#_Toc105758210)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ Г** 48](#_Toc105758211)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ Д** 51](#_Toc105758212)

## **Исходные данные**

В РГР проводится анализ структурной схемы системы, представленной на рисунке 1.



1 – усилитель; 2 – фильтр; 3 – типовое звено; – входной сигнал; – выходной сигнал;  – внешнее воздействие на систему

Рисунок 1 – Структурная схема исследуемой системы

Параметры структурной схемы системы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные параметры для системы

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Входной сигнал | Усилитель | | Фильтр нижних частот | | Типовое звено | | |
|  | Рис. 2, a |  |  |  | № 2 |  |  |

## **2 Порядок расчета**

## **2.1 Получение передаточной функции усилителя и построение его динамических характеристик**

### 2.1.1 Выбор операционного усилителя

Для реализации усилителя с Т-образной цепью обратной связи c учетом анализа входного сигнала выберем операционный усилитель LT6226, технические характеристики которого представлены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1 – Технические характеристики ОУ LT6226

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Наименование | Значение |
| 1 | Входное напряжение смещения нуля, мкВ | 20 |
| 2 | Разность входных токов, мкА | 0,3 |
| 3 | Частота единичного усиления, МГц | 420 |
| 4 | Коэффициент усиления, дБ | 139 |
| 5 | Диапазон напряжения питания, В |  |
| 6 | Температурный дрейф напряжения смещения, мкВ/ | 0,4 |

Схема инвертирующего усилителя, в цепь обратной связи которой входит Т-образный трехполюсник, составленный из резисторов R2, R3, R4, представлен на рисунке 2.1.1

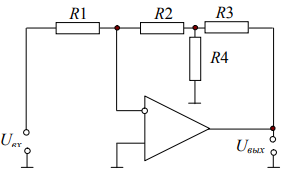


Рисунок 2.1.1 – Схема усилителя с Т-образной цепью обратной связи

Для данной схемы справедливо соотношение:

 (1)

При расчете сопротивлений входной цепи ОУ и цепи обратной связи зададимся: 

Рассчитаем значение сопротивления :

 (2)

Выберем номинальное значение резистора : SMD 0805 сопротивлением 48,1 кОм (ряд E192), номинальной мощностью 0,125 Вт и допустимым отклонением ±0,5%.

Выберем номинальное значение резисторов  и : SMD 0805 сопротивлением 26,1 кОм (ряд E192), номинальной мощностью 0,125 Вт и допустимым отклонением ±0,5%.

Выберем номинальное значение резистора : SMD 0805 сопротивлением 10 кОм (ряд E192), номинальной мощностью 0,125 Вт и допустимым отклонением ±0,5%.

2.1.2 Передаточная функция усилителя

Реальный ОУ обладает инерционными свойствами, и в полосе частот от нескольких килогерц или единиц мегагерц ОУ по своим динамическим свойствам близок к инерционному звену первого порядка, поэтому его передаточная функция изменится и будет учитывать проявление инерционных свойств усилителя:

 (3)

где – постоянная времени ОУ.

С ростом частоты сигнала модуль коэффициента усиления ОУ снижается со скоростью, примерно равной 20 дБ на декаду. Это снижение означает, что при увеличении частоты в 10 раз во столько же раз уменьшается и модуль коэффициента усиления. Если бы такая скорость сохранялась во всем диапазоне частот, то постоянная времени ОУ могла бы быть найдена как:

 (4)

где – частота единичного усиления ОУ.

Передаточная функция ОУ в полиноминальном виде:

 (5)

2.1.3 Получение аналитических выражений для динамических характеристик усилителя

Теоретическая зависимость АФХ может быть получена из передаточной функции системы (5), путем замены :

 (6)

Выделенное значение действительной части:

 (7)

Выделенное значение мнимой части:

 (8)

* + - 1. Построение АЧХ усилителя

Для получения амплитудно-частотной характеристики используют выражения для действительной и мнимой частей амплитудно-частотной характеристики:

 (9)

 (10)

 (11)

АЧХ усилителя построенного первым способом представлено на рисунке 2.1.3.1.

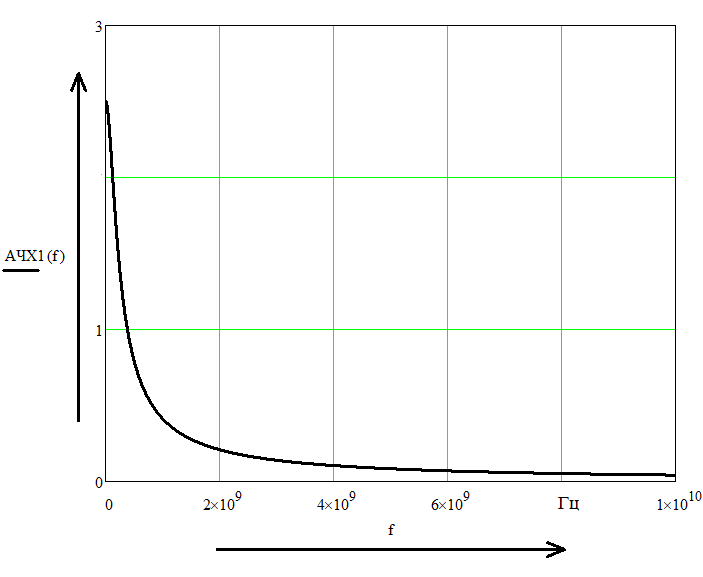


Рисунок 2.1.3.1 – АЧХ усилителя

Полученные результаты будут абсолютно одинаковы, что хорошо видно по графикам АЧХ, полученным разными способами и приведенным в приложении А (рисунки А.1 и А.2).

2.1.3.2 Построение ФЧХ усилителя

Для построении ФЧХ используют выражения для действительной и мнимой частей амплитудно-частотной характеристики:

 (12)

 (13)

 (14)

ФЧХ усилителя построенного первым способом представлено на рисунке 2.1.3.2.

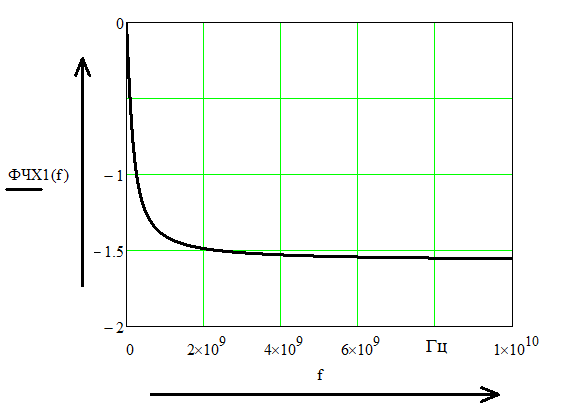


Рисунок 2.1.3.2 – ФЧХ усилителя

Полученные результаты также будут абсолютно одинаковы, что хорошо видно по графикам ФЧХ, полученным разными способами, приведенными в приложении А (рисунки Г.3 и Г.4).

2.1.3.3 Построение АФХ усилителя

Может вестись двумя способами в зависимости от того, каким образом проводились предыдущие расчеты.

Построить амплитудно-фазовую характеристику можно в комплексной плоскости прямоугольных координат, когда по оси х откладывается действительная часть АФХ, а по оси y – мнимая.

АФХ усилителя построенного первым способом представлено на рисунке 2.1.3.3.

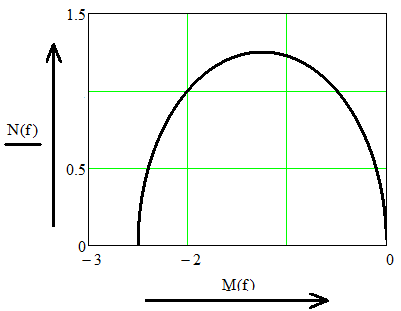


Рисунок 2.1.3.3 – АФХ усилителя первым способом

Если построение ведется в полярных координатах, то в качестве модуля и аргумента применяются АЧХ и ФЧХ исследуемого элемента или системы. АФХ усилителя построенного вторым способом представлено на рисунке 2.1.3.4.

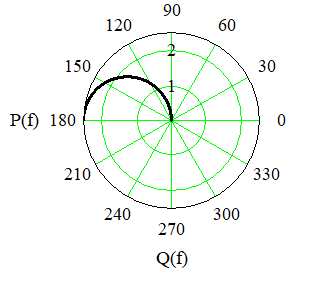


Рисунок 2.1.3.4 – АФХ усилителя вторым способом

Полученные графики будут идентичны, и это иллюстрируется в приложении А (рисунки Г.5 и Г.6).

2.1.3.4 Построение ЛАЧХ и ЛФЧХ

Проводится из условия, что логарифмические характеристики связаны с уже полученными АЧХ и ФЧХ. В среде MathCAD это выглядит следующим образом:

 (15)

 (16)

 (17)

Причем следует помнить, что при построении логарифмической АЧХ следует выбрать логарифмическую ось х, так как логарифмируются обе оси.

ЛАЧХ усилителя представлено на рисунке 2.1.3.4.

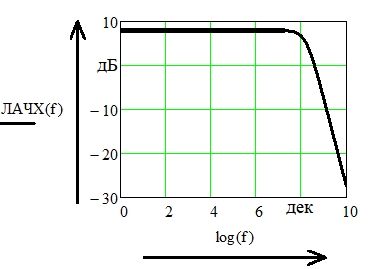


Рисунок 2.1.3.4 – ЛАЧХ усилителя

Логарифмическая фазо-частотная характеристика отличается от обычной тем, что, как и в предыдущем случае, логарифмируется ось х.

ЛФЧХ усилителя представлено на рисунке 2.1.3.5.

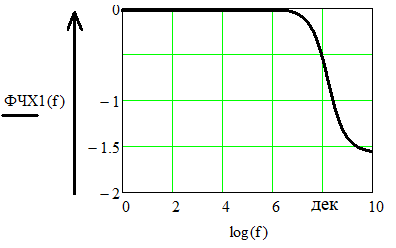


Рисунок 2.1.3.5 – ЛФЧХ усилителя

Пример построение этих характеристик приведен в приложении А (рисунки Г.7 и Г.8).

## **Получение передаточной функции фильтра нижних частот и построение его динамических характеристик**

* + 1. Выбор схемы фильтра

Основываясь на исходных данных, для реализации фильтра нижних частот необходимо выбрать инверсный фильтр Чебышева. Данный фильтр является неполиноминальным, поэтому предлагается использовать биквадратное активное звено второго порядка, но тогда данная система будет не устойчивая. Поэтому предлагается реализовать фильтр Чебышева 2-го порядка. Данный фильтр является полиноминальным, поэтому предлагается использовать структуру Сален – Кея, схема которого представлена на рисунке 2.2.1.

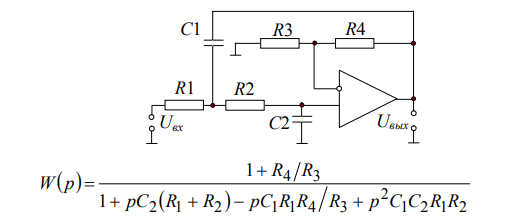


Рисунок 2.2.1 – Активное звено второго порядка на основе ИНУН

Для данной схемы справедливо соотношение:

 (18)

При расчете элементов зададимся: ,, 

Рассчитаем значение сопротивления :

 (19)

Рассчитаем значение сопротивления :

 (19)

Рассчитаем значение сопротивления :

 (19)

Рассчитаем значение сопротивления :

 (20)

Рассчитаем значение сопротивления :

 (21)

Рассчитаем значение сопротивления :

 (22)

Выберем номинальное значение конденсатора : SMD 0805 емкостью 1.49 нФ (ряд E196), рабочим напряжением 25 В и допустимым отклонением ±10%.

Выберем номинальное значение конденсатора : SMD 0805 емкостью 1.7 нФ (ряд E196), рабочим напряжением 25 В и допустимым отклонением ±10%.

Выберем номинальное значение резистора : SMD 0805 сопротивлением 39,7 кОм (ряд E192), номинальной мощностью 0,125 Вт и допустимым отклонением ±0,5%.

Выберем номинальное значение резистора : SMD 0805 сопротивлением 6,49 кОм (ряд E192), номинальной мощностью 0,125 Вт и допустимым отклонением ±0,5%.

Выберем номинальное значение резистора : SMD 0805 сопротивлением 91,9 кОм (ряд E192), номинальной мощностью 0,125 Вт и допустимым отклонением ±0,5%.

Выберем номинальное значение резистора : SMD 0805 сопротивлением 91,9 кОм (ряд E192), номинальной мощностью 0,125 Вт и допустимым отклонением ±0,5%.

* + 1. Передаточная функция фильтра в полиноминальном виде

Передаточная функция имеет вид:

 (23)

После преобразования передаточная функция имеет вид:

 (24)

2.2.3 Получение аналитических выражений для динамических характеристик усилителя

Теоретическая зависимость АФХ может быть получена из передаточной функции системы (24), путем замены :

 (25)

Выделенное значение действительной части:

 (26)

Выделенное значение мнимой части:

 (27)

* + - 1. Построение АЧХ усилителя

Для получения амплитудно-частотной характеристики используют выражения для действительной и мнимой частей амплитудно-частотной характеристики:

 (28)

 (29)

 (30)

АЧХ фильтра построенного первым способом представлено на рисунке 2.2.3.1.

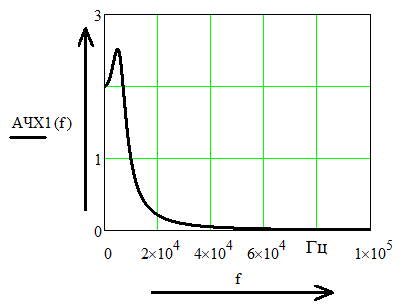


Рисунок 2.2.3.1 – АЧХ фильтра

Полученные результаты будут абсолютно одинаковы, что хорошо видно по графикам АЧХ, полученным разными способами и приведенным в приложении Б (рисунки Б.1 и Б.2).

2.2.3.2 Построение ФЧХ усилителя

Для построении ФЧХ используют выражения для действительной и мнимой частей амплитудно-частотной характеристики:

Аргумент комплексного коэффициента преобразования:

 (31)

 (32)

 (33)

ФЧХ фильтра построенного первым способом представлено на рисунке 2.2.3.2.

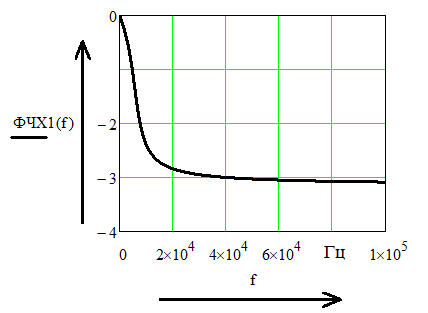


Рисунок 2.2.3.2 – ФЧХ фильтра

Полученные результаты также будут абсолютно одинаковы, что хорошо видно по графикам ФЧХ, полученным разными способами, приведенными в приложении Б (рисунки Б.3 и Б.4).

2.2.3.3 Построение АФХ фильтра

Может вестись двумя способами в зависимости от того, каким образом проводились предыдущие расчеты.

Построить амплитудно-фазовую характеристику можно в комплексной плоскости прямоугольных координат, когда по оси х откладывается действительная часть АФХ, а по оси y – мнимая.

АФХ фильтра построенного первым способом представлено на рисунке 2.2.3.3.

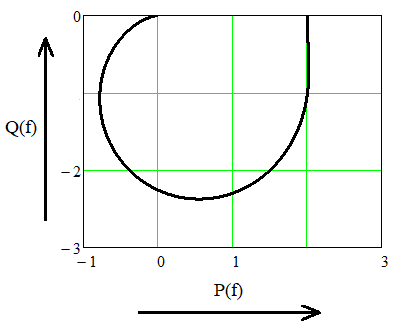


Рисунок 2.2.3.3 – АФХ фильтра

Если построение ведется в полярных координатах, то в качестве модуля и аргумента применяются АЧХ и ФЧХ исследуемого элемента или системы. АФХ фильтра построенного вторым способом представлено на рисунке 2.2.3.3.

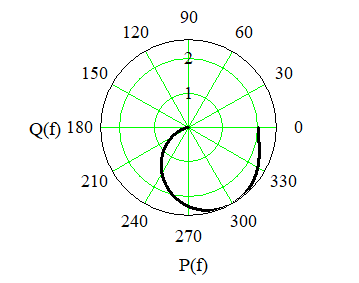


Рисунок 2.2.3.4 – АФХ фильтра

Полученные графики будут идентичны, и это иллюстрируется в приложении Б (рисунки Б.5 и Б.6).

2.2.3.4 Построение ЛАЧХ и ЛФЧХ

Проводится из условия, что логарифмические характеристики связаны с уже полученными АЧХ и ФЧХ. В среде MathCAD это выглядит следующим образом:

 (34)

 (35)

 (36)

Причем следует помнить, что при построении логарифмической АЧХ следует выбрать логарифмическую ось х, так как логарифмируются обе оси.

ЛАЧХ фильтра представлено на рисунке 2.2.3.4.

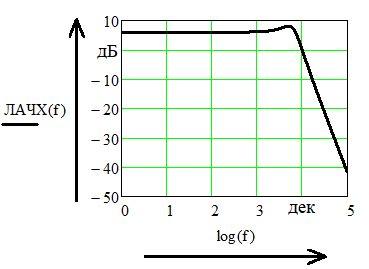


Рисунок 2.2.3.4 – ЛАЧХ фильтра

Логарифмическая фазо-частотная характеристика отличается от обычной тем, что, как и в предыдущем случае, логарифмируется ось х.

ЛФЧХ фильтра представлено на рисунке 2.2.3.5.

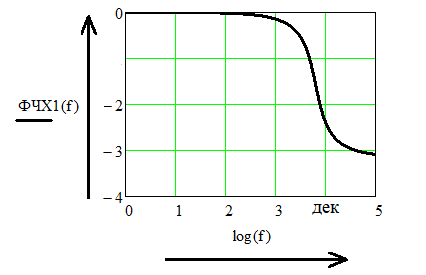


Рисунок 2.2.3.4 – ЛФЧХ фильтра

Пример построение этих характеристик приведен в приложении Б (рисунки Б.7 и Б.8).

## **2.3 Получение передаточной функции типового звена и построение его динамических характеристик**

2.3.1 Расчет параметров типового звена

Схема реализации простейшего типового звена представлена на рисунке 2.3.1

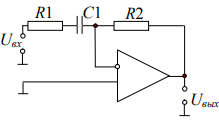


Рисунок 2.1.1 – Схема типового звена

Реализуемое дифференциальное уравнение типового звена:

 (37)

При расчете элементов зададимся: 

Рассчитаем значение сопротивления :

 (38)

Рассчитаем значение сопротивления :

 (39)

Выберем номинальное значение конденсатора : SMD 0805 емкостью 7 нФ (ряд E196), рабочим напряжением 25 В и допустимым отклонением ±10%.

Выберем номинальное значение резистора : SMD 0805 сопротивлением 285,7 МОм (ряд E192), номинальной мощностью 1,25 Вт и допустимым отклонением ±5%.

Выберем номинальное значение резистора : SMD 0805 сопротивлением 10 кОм (ряд E192), номинальной мощностью 0,125 Вт и допустимым отклонением ±0,5%.

Операционный усилитель должен обладать малым входным напряжением смещения нуля и небольшой разностью входных токов. Данным требованиям удовлетворяет ОУ LT6226. Основные технические характеристики данной модели представлены в таблице 2.1.1.

2.3.2 Операторная форма записи дифференциального уравнения

Операторный метод позволяет записать дифференциальное уравнение в своеобразной форме, при которой дифференцирование и интегрирование заменяются алгебраическими операциями над комплексным числом *p.* При этом, исходная переменная  называемая оригиналом, заменяется на изображение :

 (40)

Передаточная функция – отношение изображения выходной величины к изображению входной величины при нулевых начальных условиях:

 (41)

2.3.3 Получение аналитических выражений для динамических характеристик усилителя

Теоретическая зависимость АФХ может быть получена из передаточной функции системы (32), путем замены :

 (42)

Выделенное значение действительной части:

 (43)

Выделенное значение мнимой части:

 (44)

2.3.3.1 Построение АЧХ типового звена

Для получения амплитудно-частотной характеристики используют выражения для действительной и мнимой частей амплитудно-частотной характеристики:

 (45)

 (46)

 (47)

АЧХ типового звена построенного первым способом представлено на рисунке 2.3.3.1.

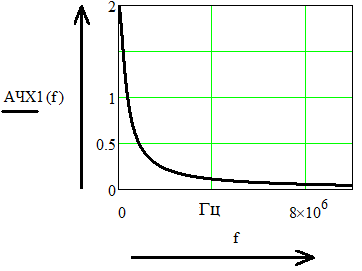


Рисунок 2.3.3.1 – АЧХ типового звена

Полученные результаты будут абсолютно одинаковы, что хорошо видно по графикам АЧХ, полученным разными способами и приведенным в приложении В (рисунки В.1 и В.2).

2.3.3.2 Построение ФЧХ типового звена

Для построении ФЧХ используют выражения для действительной и мнимой частей амплитудно-частотной характеристики:

 (48)

 (49)

 (50)

ФЧХ типового звена построенного первым способом представлено на рисунке 2.3.3.2.

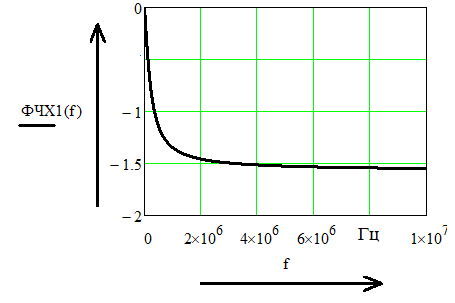


Рисунок 2.3.3.2 – ФЧХ типового звена

Полученные результаты также будут абсолютно одинаковы, что хорошо видно по графикам ФЧХ, полученным разными способами, приведенными в приложении В (рисунки В.3 и В.4).

2.3.3.3 Построение АФХ типового звена

Может вестись двумя способами в зависимости от того, каким образом проводились предыдущие расчеты.

Построить амплитудно-фазовую характеристику можно в комплексной плоскости прямоугольных координат, когда по оси х откладывается действительная часть АФХ, а по оси y – мнимая.

АФХ типового звена построенного первым способом представлено на рисунке 2.3.3.3.

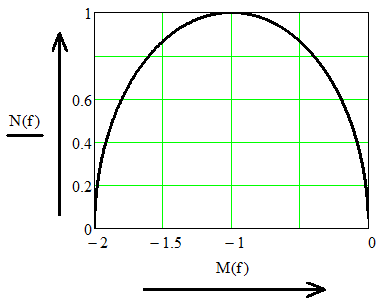


Рисунок 2.3.3.3 – АФХ типового звена

Если построение ведется в полярных координатах, то в качестве модуля и аргумента применяются АЧХ и ФЧХ исследуемого элемента или системы. АФХ типового звена построенного вторым способом представлено на рисунке 2.3.3.3.

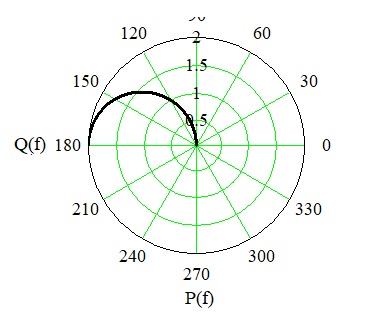


Рисунок 2.3.3.3 – АФХ типового звена

Полученные графики будут идентичны, и это иллюстрируется в приложении В (рисунки В.5 и В.6).

2.3.3.4 Построение ЛАЧХ и ЛФЧХ

Проводится из условия, что логарифмические характеристики связаны с уже полученными АЧХ и ФЧХ. В среде MathCAD это выглядит следующим образом:

 (51)

 (52)

 (53)

Причем следует помнить, что при построении логарифмической АЧХ следует выбрать логарифмическую ось х, так как логарифмируются обе оси.

ЛАЧХ типового звена представлено на рисунке 2.3.3.4.

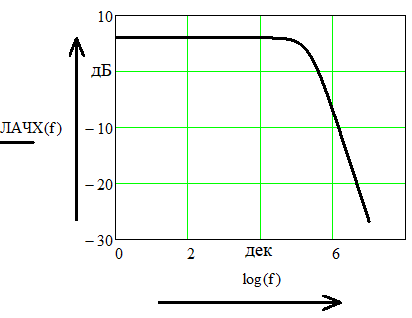


Рисунок 2.3.3.4 – ЛАЧХ типового звена

Логарифмическая фазо-частотная характеристика отличается от обычной тем, что, как и в предыдущем случае, логарифмируется ось х.

ЛФЧХ типового звена представлено на рисунке 2.3.3.5.

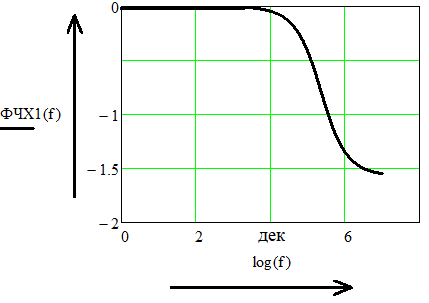


Рисунок 2.3.3.5 – ЛФЧХ типового звена

Пример построение этих характеристик приведен в приложении В (рисунки В.7 и В.8).

## **2.4 Получение общей передаточной функции системы**

### 2.4.1 Преобразование схемы

Используя правила преобразования структурных схем, получим общую передаточную функцию устройства, состоящего из вышеперечисленных элементов. Сначала преобразуем элементы, которые соединены последовательно (рис. 20)

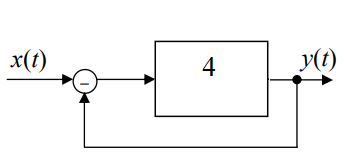


Рисунок 20 – Преобразованная структурная схема

Передаточная функция данной схемы

 (54)

Структурная схема после последующего преобразования примет вид

Передаточная функция такой системы

 (55)

подставляя выражение (19) в (20) получим

 (56)

Данная придаточная функция является передаточной функции замкнутой системы по управлению.

### 2.4.2 Передаточная функция замкнутой системы по управлению

Подставим в (21) передаточные функции усилителя, ФНЧ и типового звена

 (57)

 (58)

 (59)

 (60)

 (61)

 (62)

### 2.4.3 Передаточная функция разомкнутой системы

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид



 (63)

 (64)

### 2.4.4 Передаточная функция замкнутой системы по возмущению

Передаточная функция замкнутой системы по возмущению будет иметь вид



 (65)

 (66)

 (67)

 (68)

### 2.4.5 Передаточная функция замкнутой системы по ошибке

Передаточная функция замкнутой системы по ошибке будет иметь вид



 (69)

## **2.5 Получение выходного сигнала системы y(t)**

Для получения выходного сигнала y(t) можно воспользоваться следующим алгоритмом действий:

– Нахождение аналитического выражения комплексного спектра выходного сигнала y(ω) проводится на основании известной зависимости:

y(ω) = x(ω)W(ω)

где x(ω) – аналитическое выражение комплексного спектра входного сигнала;

W(ω) – аналитическое выражение комплексного спектра передаточной функции.

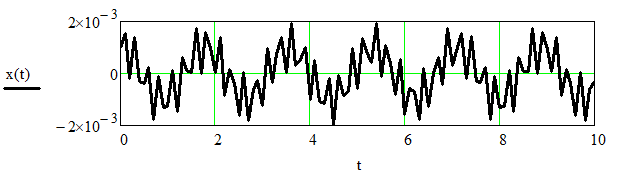
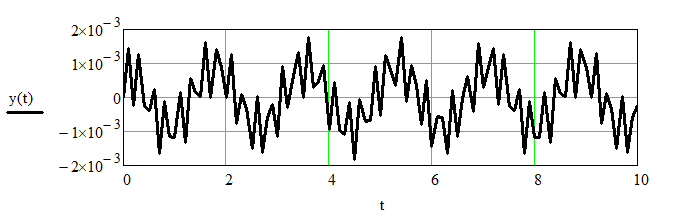


Рисунок 2.5.1 – Входной сигнал системы

 Рисунок 2.5.2 – Выходной сигнал системы

Расчеты выходного сигнала приведены в приложение Г.

## **2.6 Получение аналитических выражений для АФХ, АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ всей исследуемой системы.**

Теоретическая зависимость АФХ может быть получена из передаточной функции системы (61), путем замены :

 (70)

 (71)

Выделенное значение действительной части:

 (72)

Выделенное значение мнимой части:

 (73)

Для построения АЧХ используется:

 (74)

 (75)

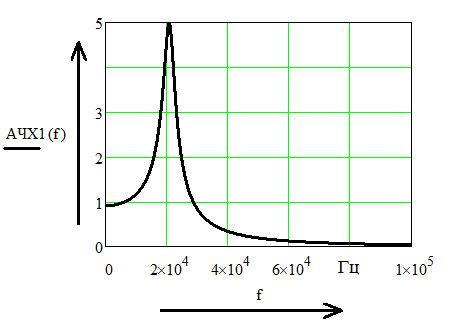


Рисунок 2.6.1 – АЧХ всей системы

Для построения ФЧХ используется:

 (76)

 (77)

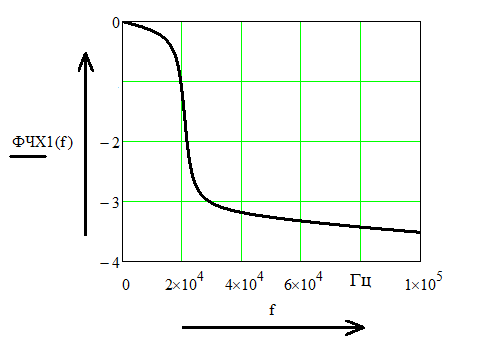


Рисунок 2.6.2 – ФЧХ всей системы

Для построения АФХ ФНЧ будет использоваться по оси х действительная часть АФХ, а по оси y – мнимая.

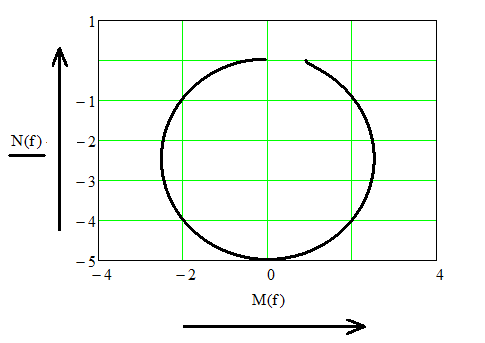


Рисунок 2.6.3 – АФХ всей системы

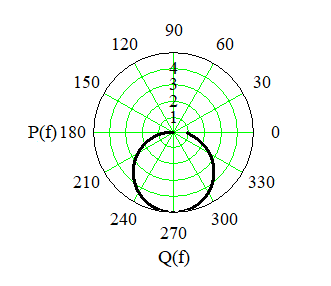


Рисунок 2.6.4 – АФХ всей системы

Для построения ЛАЧХ используется

 (78)

 (79)

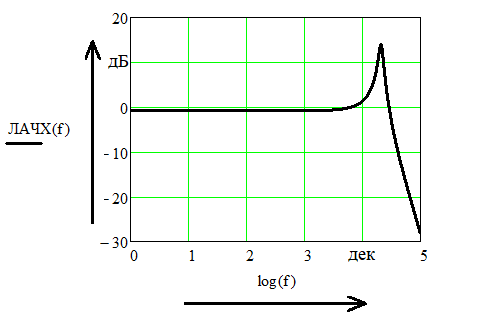


Рисунок 2.6.5 – ЛАЧХ всей системы

Логарифмическая фазо-частотная характеристика отличается от обычной только тем, что логарифмируется ось х.

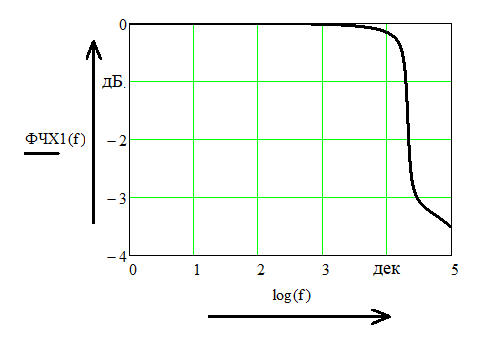


Рисунок 2.6.6 – ЛФЧХ всей системы

## **Заключение**

В данной расчетно-графической работе были использованы на практике знания и навыки в области теории управления для проведения расчетов характеристик системы.

Исходя из задания, были выбраны схемы реализации блоков системы – усилителя, фильтра нижних частот и типового звена, рассчитаны и подобраны их элементы. Был проведен анализ динамических характеристик заданной системы в целом и каждого отдельного блока.

По результатам проведенного анализа были получены аналитические выражения для входного и выходного сигналов, графики функций x(t) и y(t). Выходной сигнал исследуемой системы уменьшился по амплитуде на 0,082.

## **Список использованных источников**

1 ГОСТ 2.105-95. Общие требования к текстовым документам. – М.: Издательство стандартов, 1995.

2 Гутников, В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах/ В.С. Гутников. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 304 с.: ил.

3 Гусев, В.Г. Электроника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высшая школа,1991. – 622 с.: ил.

4 Фролов В.Н. Управление в биологических и медицинских системах:

Учебное пособие / Под ред. Я.Е. Львовича и М.В. Фролова – Воронеж, 2001. –327 с.

5 Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.: ил.

6 Солодовников В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования./ Солодовников В. В., Плотников В. Н., Яковлев А. В. – М. Машиностроение, 1985 – 536 с.: ил.

7 Теория автоматического управления / В.Н. Брюханов, М.Г. Косов, С.П. Протопопов и др. Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 2000. – 268 с.: ил.

8 Джонсон, Д. Справочник по активным фильтрам / Д. Джонсон, Дж.

Джонсон, Г. Мур. – М.: Энергоатом издат, 1983. – 94 с.

9 Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник. / Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, Ю.П. Ходоренок. – Мн.: Беларусь, 1994. – 591 с.: ил.

10 Резисторы: Справочник / Под ред. И.И. Четвертакова. – М.: Энергоатомиздат, 1981.– 352 с.: ил.

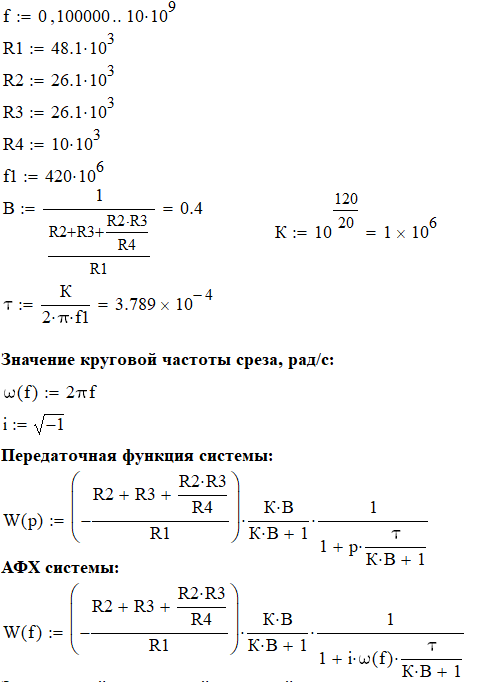
11 Достал, И. Операционные усилители: пер. с англ. – М.: Мир, 1982. –

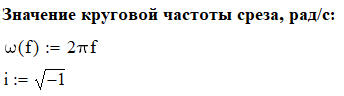
512 с.; ил.

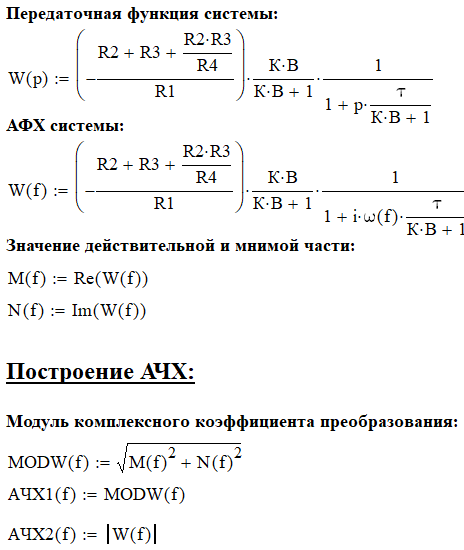
## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

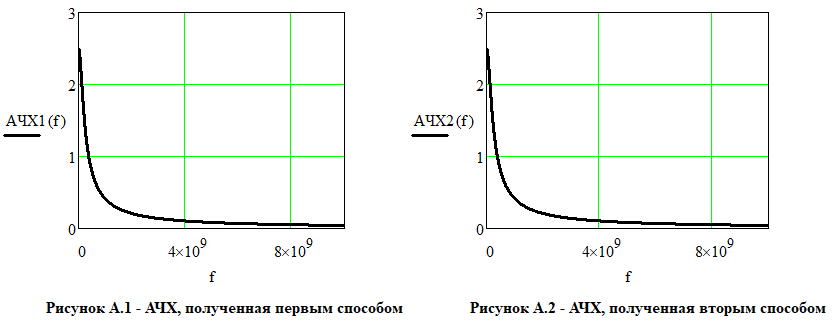
(обязательное)

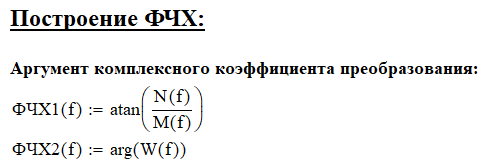
**Расчет динамических характеристик усилителя**

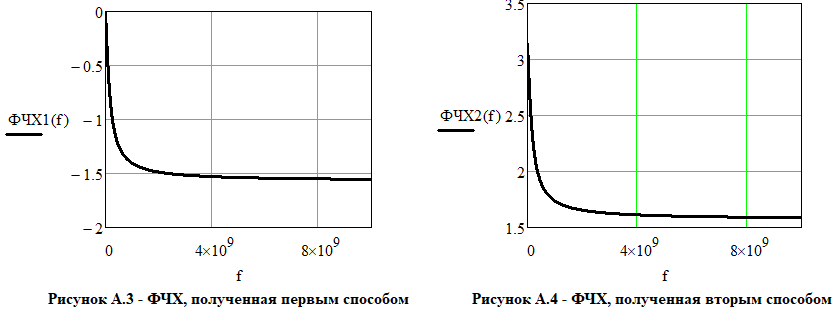


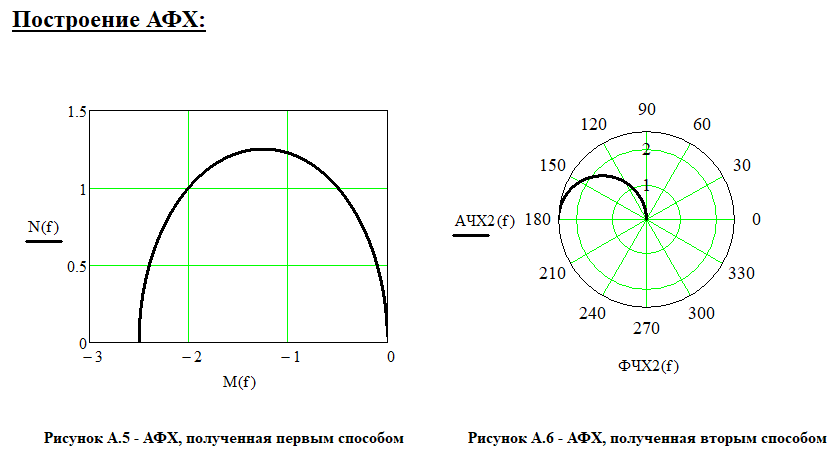


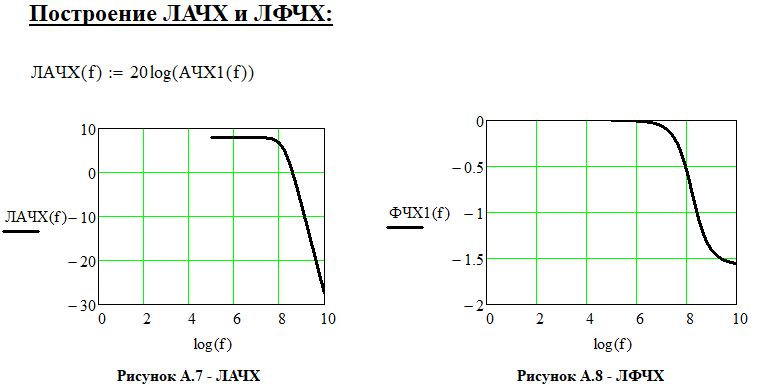








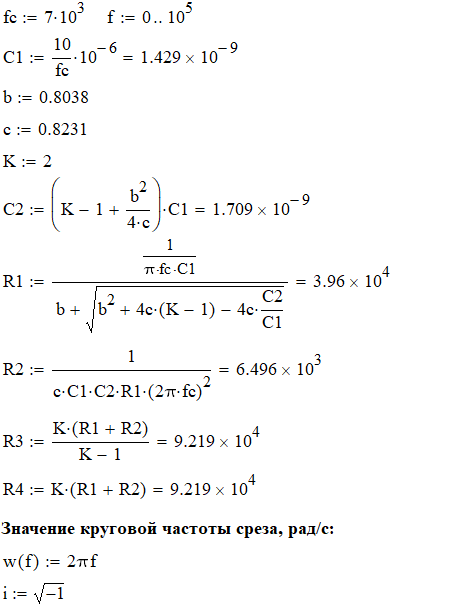


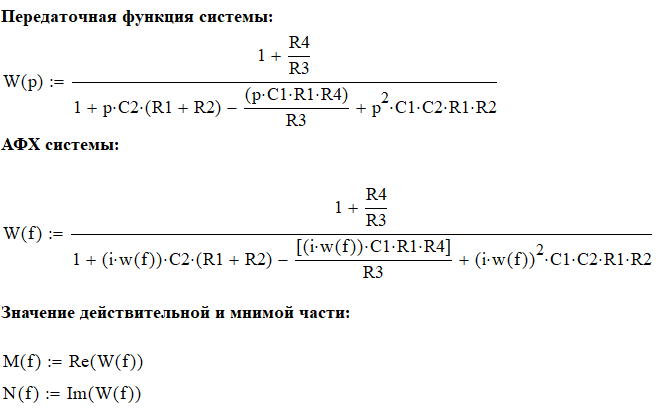


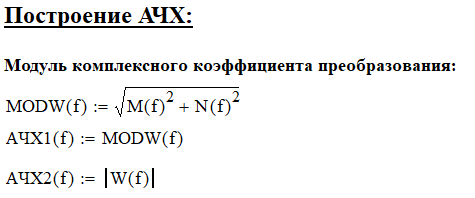
## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

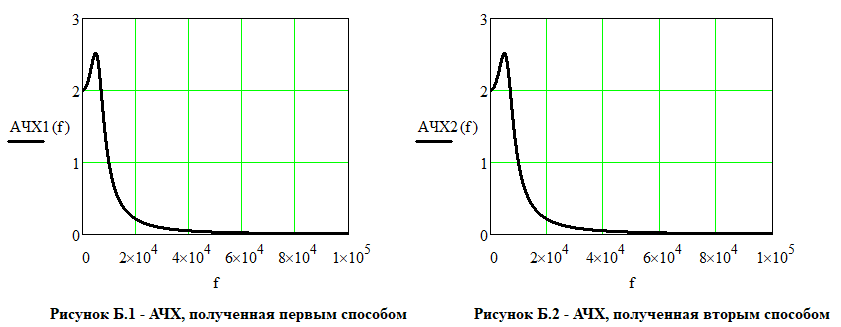
(обязательное)

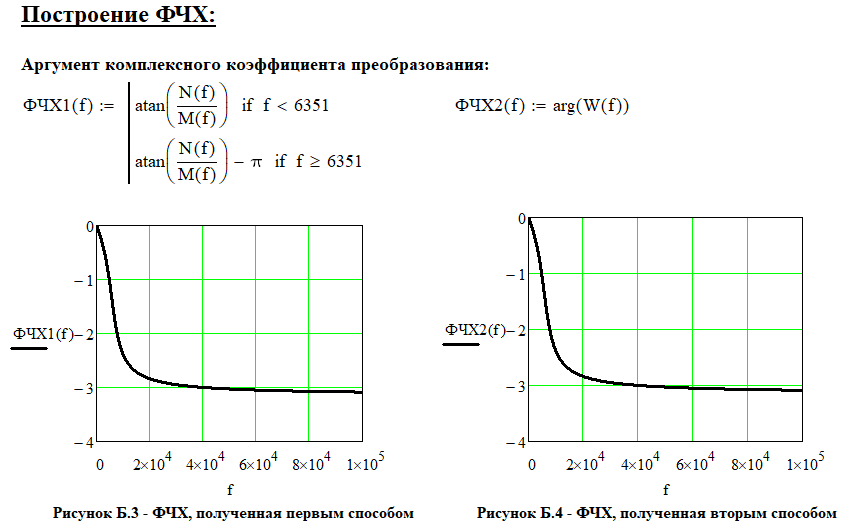
**Расчет динамических характеристик ФНЧ**

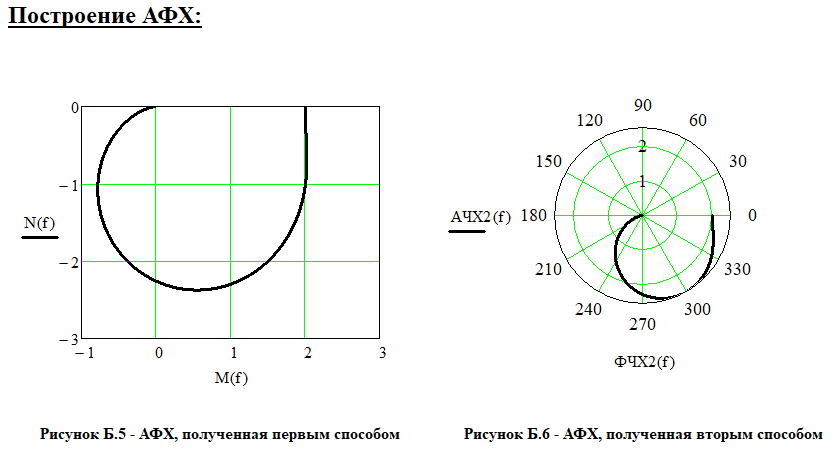


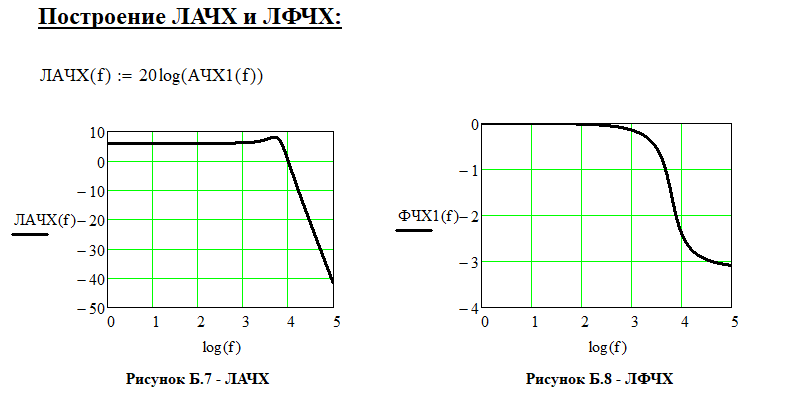








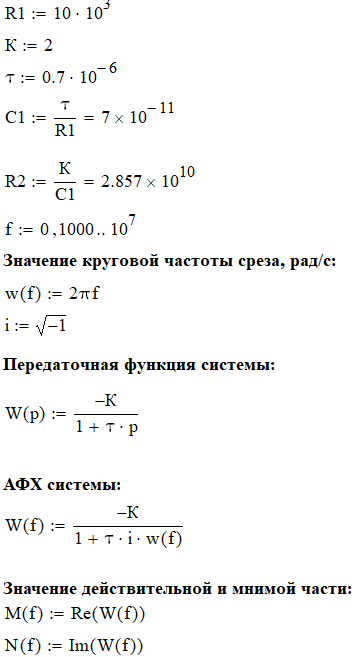


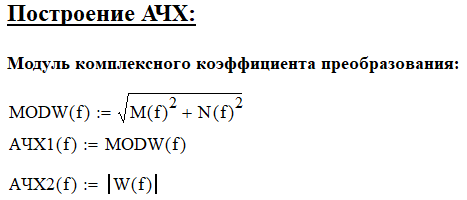


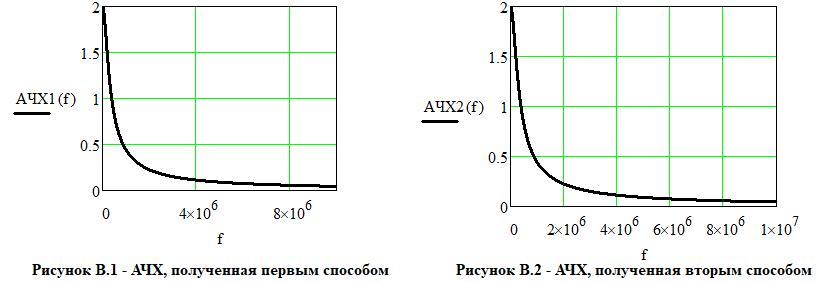
## **ПРИЛОЖЕНИЕ В**

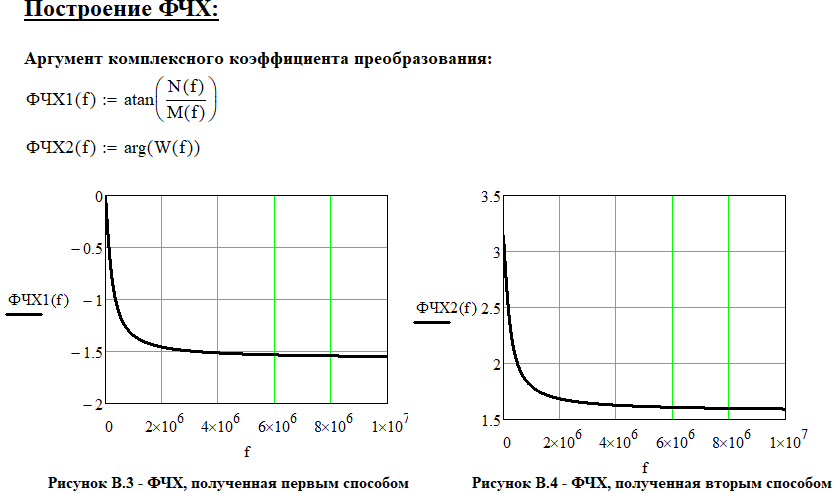
(обязательное)

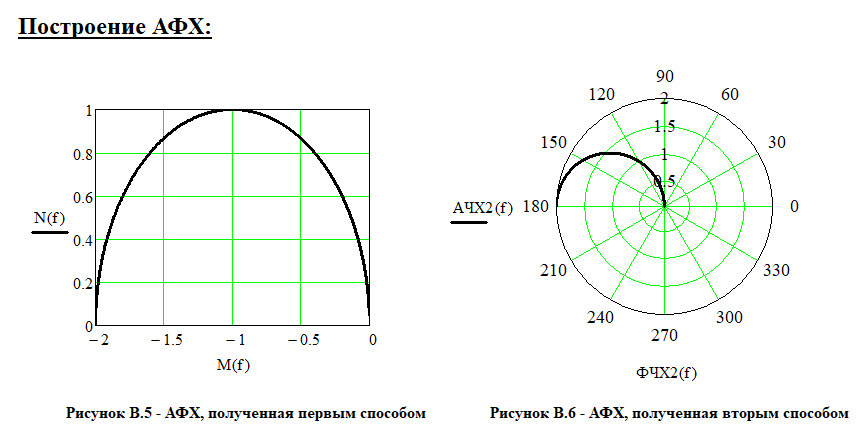
**Расчет динамических характеристик типового звена**

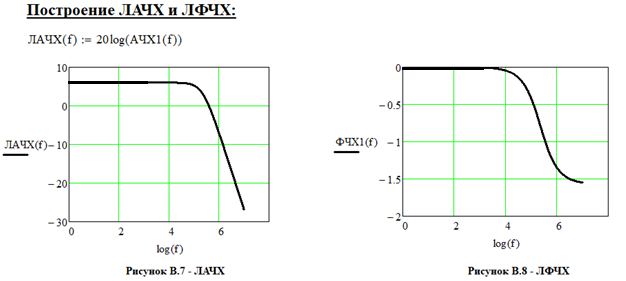








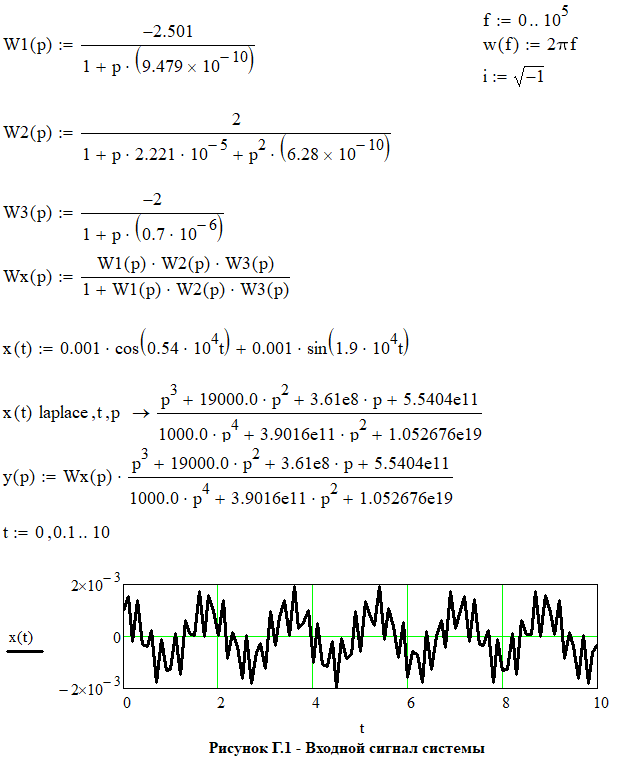




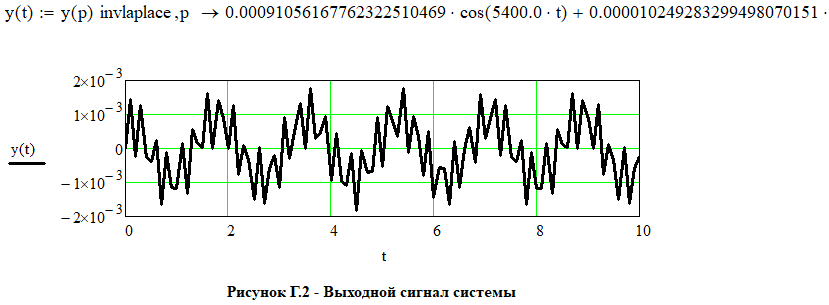
## **ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

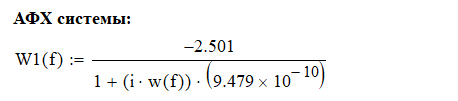
(обязательное)

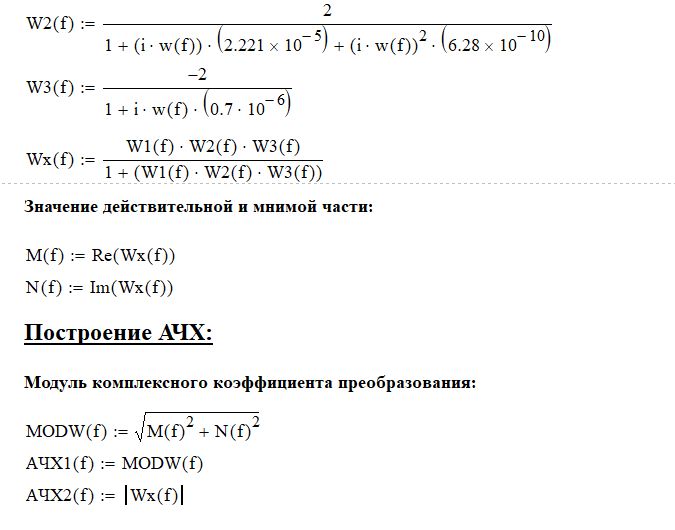
**Расчет динамических характеристик всей системы**

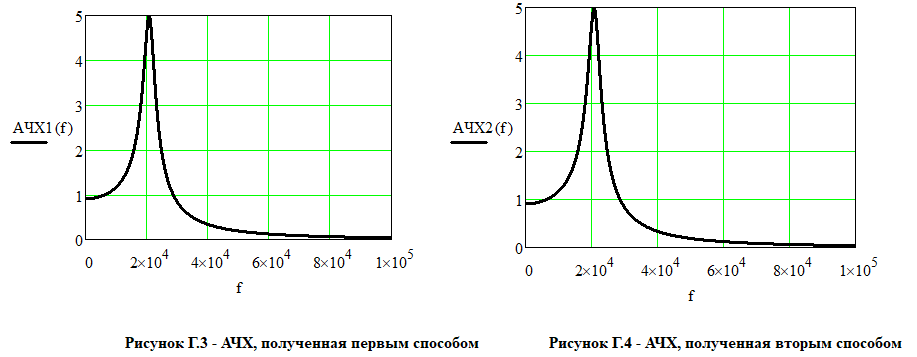


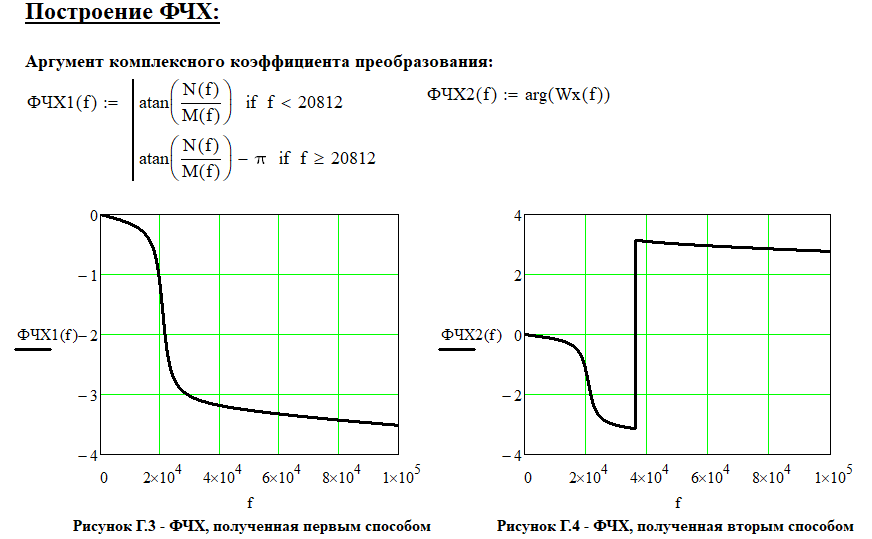


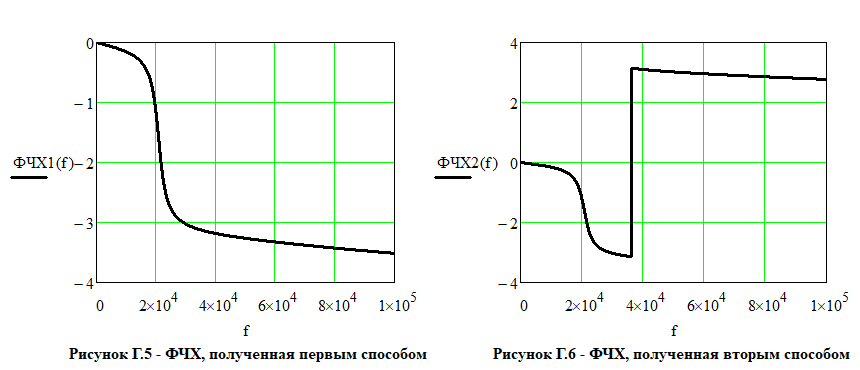
****

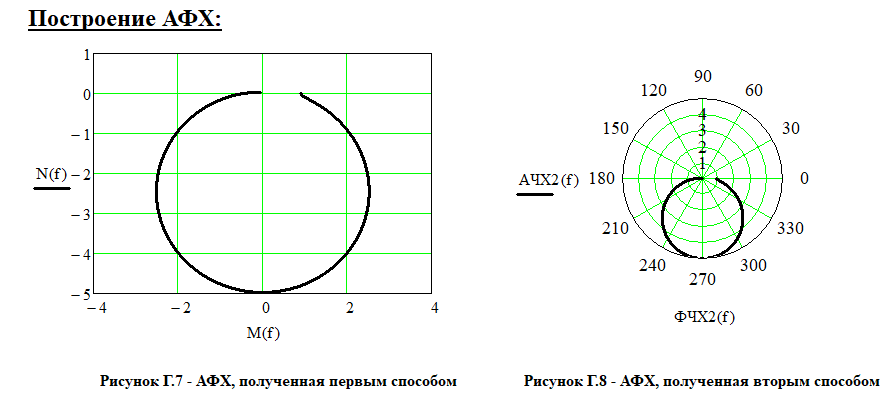
****

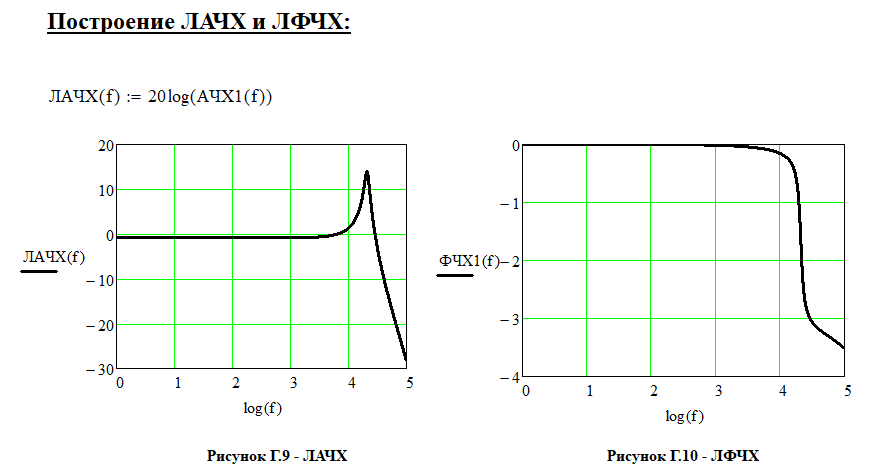
****

****

****

****

****

****

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

(обязательное)

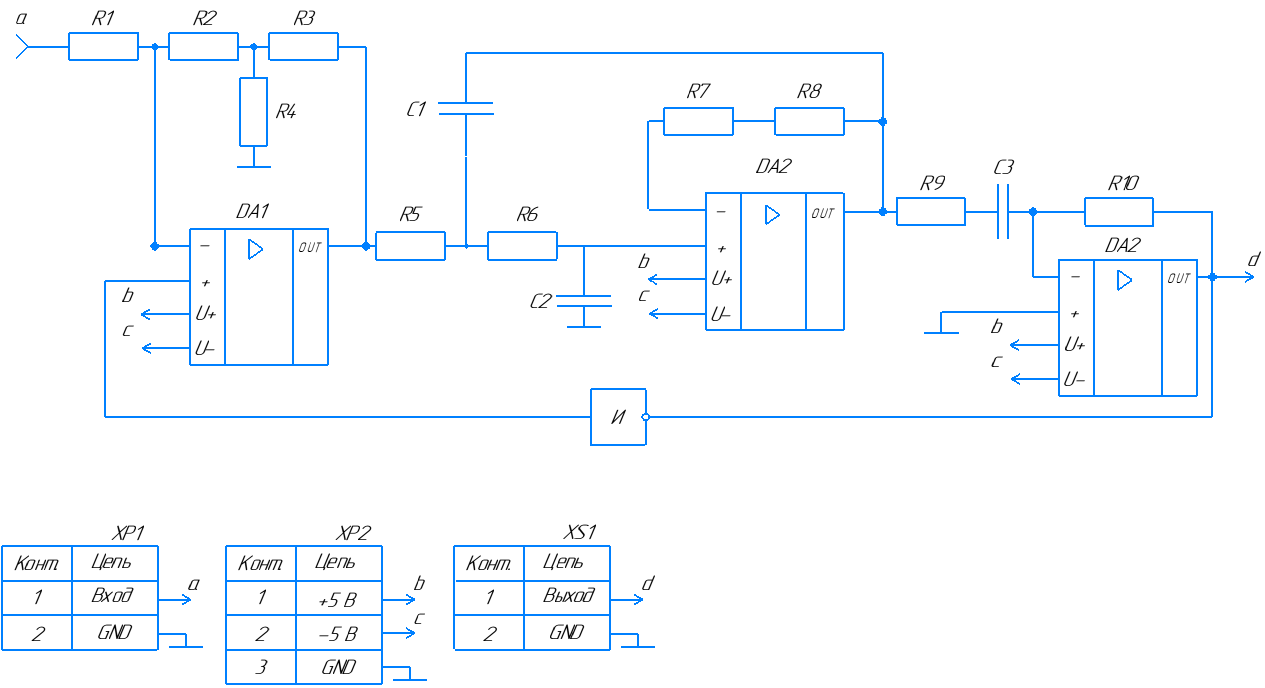


Рисунок Д.1 – Схема электрическая принципиальная исследуемой системы