

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Вологодский государственный университет»

«Электроэнергетический факультет»

«Управляющие и вычислительные системы»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Дисциплина: «Электроника и схемотехника»

Наименование темы: «Проектирование активных фильтров»

Руководитель

профессор Водовозов А.М

Выполнил студент

Кузнецов.А.А

Группа, курс

ЗЭВ-21

Дата сдачи

Дата защиты

Оценка по защите

Вологда

2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ.....	3
2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	4
3 РАСЧЕТ ФИЛЬТРА.....	5
3.1 Схема 1-го порядка (1-ый каскад).....	5
3.2 Схема 2-го порядка (2-ый каскад).....	6
3.3 Схема 2-го порядка (3-ий каскад).....	7
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА.....	9
5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	16
6 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	17

1 ВВЕДЕНИЕ

Фильтром называется электронная схема, пропускающая или усиливающая сигналы в определенном диапазоне частот и ослабляющая сигналы с частотами, выходящими за пределы заданного диапазона.

Активный фильтр — один из видов аналоговых электронных фильтров, в котором присутствует один или несколько активных компонентов, к примеру транзистор или операционный усилитель. В активных фильтрах используется принцип отделения элементов фильтра от остальных электронных компонент схемы. Часто бывает необходимо, чтобы они не оказывали влияния на работу фильтра. Применение усилителей в активных фильтрах позволяет увеличить наклон частотной характеристики в полосе подавления, что недостижимо при каскадном соединении пассивных RC-цепочек.

Фильтр Чебышёва — один из типов линейных аналоговых или цифровых фильтров, отличительной особенностью которого является более крутой спад амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и существенные пульсации амплитудно-частотной характеристики на частотах полос пропускания (фильтр Чебышёва I рода) и подавления (фильтр Чебышёва II рода), чем у фильтров других типов. Фильтр получил название в честь известного русского математика XIX века Пафнутия Львовича Чебышёва, так как характеристики этого фильтра основываются на многочленах Чебышёва.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1 Исходные данные для расчёта

Проектируемый фильтр является фильтром пятого порядка, исходные данные для расчёта приведены в таблице 2.1. Коэффициенты передаточной функции для расчёта фильтра пятого порядка приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Варианты заданий.

Вариант	F_0 , Гц	K_0	АЧХ	Метод оптимизации	Схема 2 порядка	Схема 1 порядка
6	2700	$26.2(2.7^2 \cdot 3,59)$	ФНЧ	Че0.5	СК	неИ

Таблица 2.2 – Коэффициенты передаточной функции для расчёта фильтра пятого порядка

Тип фильтра	n	i	a_i	b_i
Фильтр Чебышева с неравномерностью 0.5 дБ	5	1	2.9235	0.0000
		2	1.3025	2.3534
		3	0.2290	1.0833

Проектируемый фильтр пятого порядка является фильтром низкой частоты, по методу оптимизации - фильтром Чебышева с неравномерностью 0.5 дБ, состоит из трёх схем: двух схем Саллен-Кея и одной схемы на основе неинвертирующего усилителя. Схемы приведены на рисунках 2.1 и 2.2.

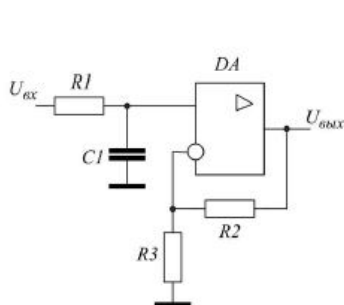


Рисунок 2.1 – Схема первого порядка

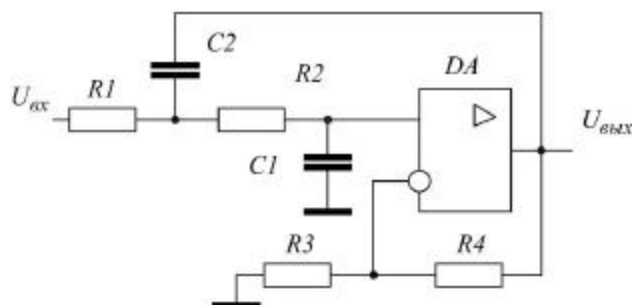


Рисунок 2.2 – Схема второго порядка

3 РАСЧЕТ ФИЛЬТРА

3.1 Принципиальная схема

Принципиальная схема для расчёта фильтра пятого порядка имеет следующий вид:

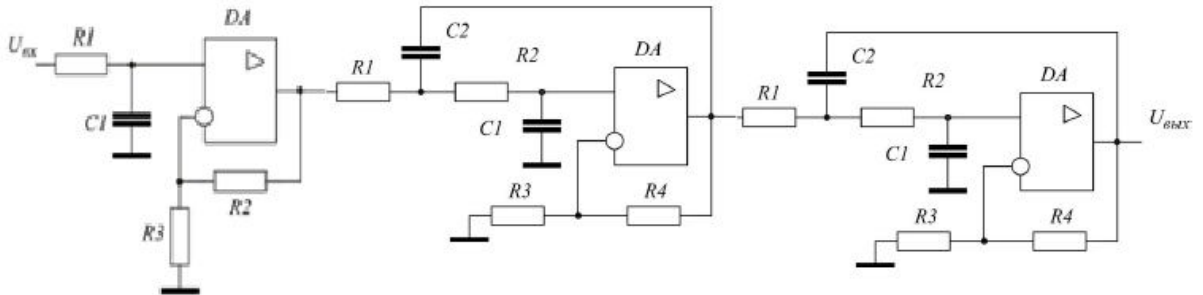


Рисунок 3.1 – Схема ФНЧ пятого порядка

Расчет ФНЧ пятого порядка сводится к расчету одного ФНЧ первого порядка и двух ФНЧ второго порядка.

Определим ω_0 :

$$F = 2700 \text{ Гц}$$

$$\omega = 2\pi F = 1.696 \cdot 10^4 \text{ 1/с}$$

3.2 Схема 1-го порядка (1-ый каскад) – схема на основе неинвертирующего усилителя:

Передаточная функция фильтра имеет вид:

$$W(P) = (R_2/R_3 + 1) / (1 + \omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot P)$$

Расчет параметров:

Примем $C_1 = 6 \text{ нФ}$ и $R_2 = 10 \text{ кОм}$, тогда, решив систему уравнений, найдем сопротивления R_1 и R_3 :

$$\begin{aligned}
 f &:= 2700 \text{ Гц} \\
 \omega_0 &:= f \cdot 2\pi = 1.696 \times 10^4 \frac{1}{\text{с}} \\
 k_0 &:= 3.59 \\
 a_1 &:= 2.9235 \\
 C_1 &:= 6 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \\
 R_2 &:= 10000 \text{ Ом} \\
 \text{Given} \\
 k_0 &= \frac{R_2}{R_3} + 1 \\
 a_1 &= \omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1 \\
 \text{Find}(R_1, R_3) &\rightarrow \begin{pmatrix} 28721.572600565185189 \\ 3861.0038610038610039 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.872 \times 10^4 \\ 3.861 \times 10^3 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.2.1 –Решение системы и нахождение сопротивления R1 и R3 в Mathcad

3.3 Схема 2-го порядка (2-ой каскад) – схема Саллен - Кея:

$$W(P) = \frac{1 + R_4 / R_3}{1 + \omega_0 \left[C_1 \cdot (R_1 + R_2) - R_1 \cdot R_4 \cdot C_2 / R_3 \right] \cdot P + \omega_0^2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot P^2}$$

Рисунок 3.3.1 – Передаточная функция фильтра

Расчет параметров:

Примем C1=6 нФ, R2 =10 кОм и R4 =10 кОм тогда, решив систему уравнений найдем сопротивления R1 и R3 и емкость конденсатора C2:

$$f := 2700 \text{ Гц}$$

$$w := f \cdot 2\pi = 1.696 \times 10^4 \frac{\text{Рад}}{\text{с}}$$

$$k0 := 2.7$$

$$a1 := 1.3025 \quad b1 := 2.3534$$

$$R2 := 10000 \text{ Ом} \quad R4 := 10000 \text{ Ом} \quad C1 := 6 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Given

$$k0 = 1 + \frac{R4}{R3} \quad +$$

$$a1 = w \cdot \left[C1 \cdot (R1 + R2) - \frac{(R1 \cdot R4 \cdot C2)}{R3} \right]$$

$$b1 = w^2 \cdot R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2$$

$$\text{Find}(R1, R3, C2) \rightarrow \begin{pmatrix} 41411.153040791569692 \\ 5882.3529411764705882 \\ 3.2910911498462860147\text{e-}9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.141 \times 10^4 \\ 5.882 \times 10^3 \\ 3.291 \times 10^{-9} \end{pmatrix}$$

Рисунок 3.3.2 – Нахождение сопротивления R1 и R3 и емкость конденсатора C2 в Mathcad

3.4 Схема 2-го порядка (3-й каскад)– схема Саллен-Кея:

$$f := 2700 \text{ Гц}$$

$$w := f \cdot 2\pi = 1.696 \times 10^4 \frac{1}{c}$$

$$k0 := 2.7$$

$$a1 := 0.2290 \quad b1 := 1.0833$$

$$R2 := 10000 \text{ Ом} \quad R4 := 10000 \text{ Ом} \quad C1 := 3 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

+

Given

$$k0 = 1 + \frac{R4}{R3}$$

$$a1 = w \cdot \left[C1 \cdot (R1 + R2) - \frac{R1 \cdot R4 \cdot C2}{R3} \right]$$

$$b1 = w^2 \cdot R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2$$

$$\text{Find}(R1, R3, C2) \rightarrow \begin{pmatrix} 65599.28561393534445 \\ 5882.3529411764705882 \\ 1.9126747011878067764e-9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6.56 \times 10^4 \\ 5.882 \times 10^3 \\ 1.913 \times 10^{-9} \end{pmatrix}$$

Рисунок 3.4.1 – Нахождение сопротивления R1 и R3 и емкость конденсатора C2 в Mathcad

В качестве операционных усилителей в схеме подойдет модель AD3554AM:

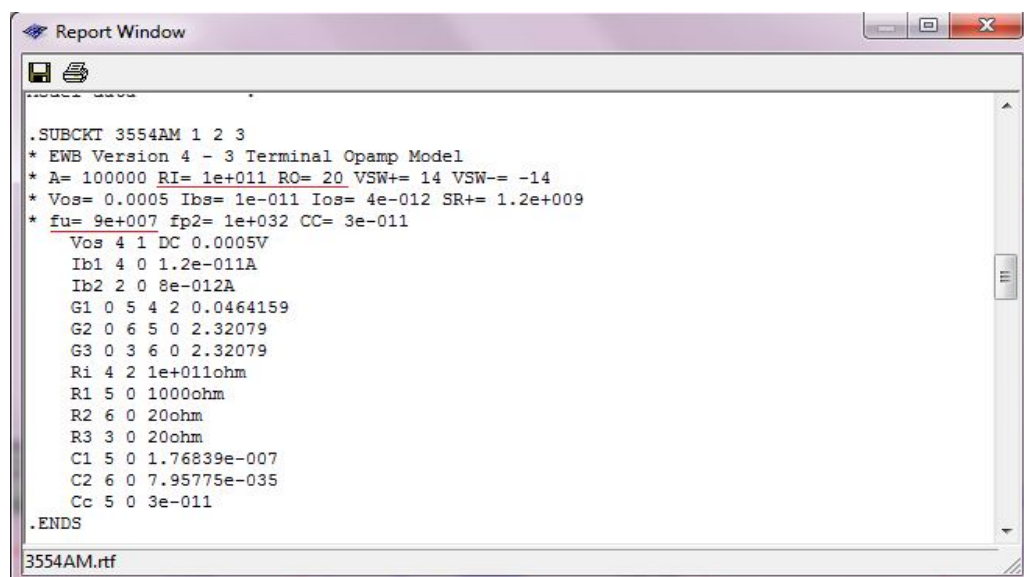


Рисунок 3.4.2 – Характеристики ОУ AD3554AM в пакете Multisim 8.0

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА

4.1 Моделирование схемы

Моделирование проводим в программе Multisim 8.0 с использованием стандартной библиотеки элементов.

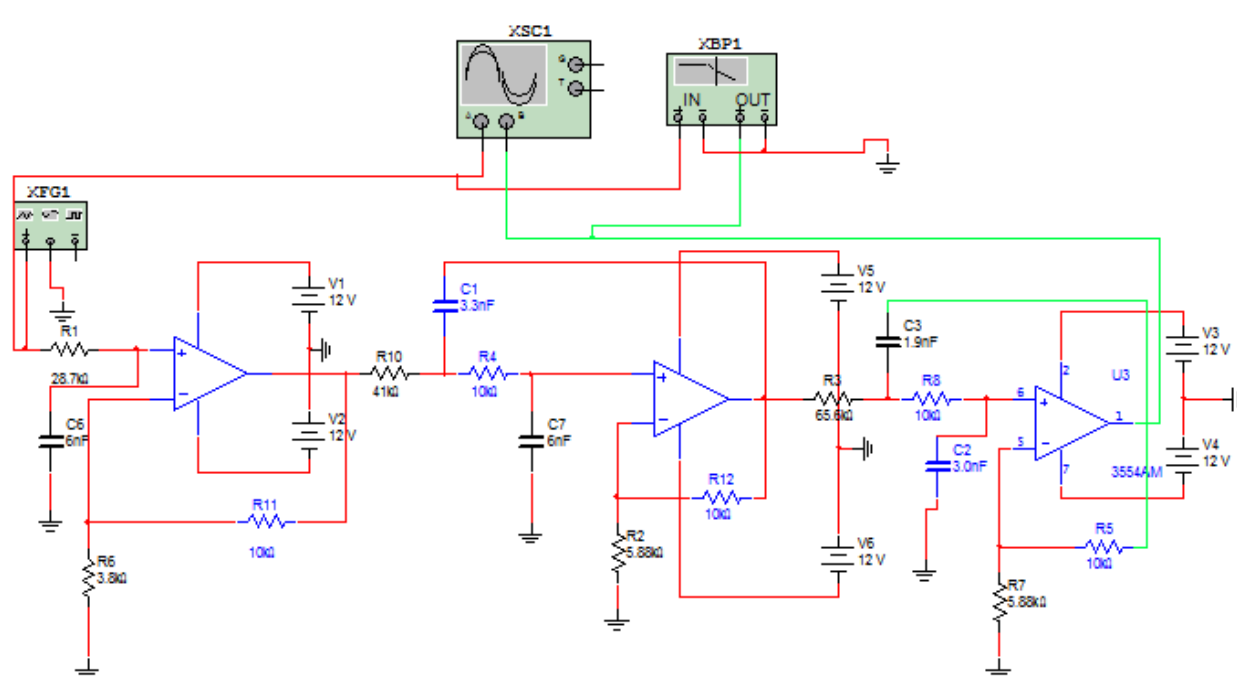


Рисунок 4.1 – Модель фильтра

4.2 Снятие осциллограмм и определение амплитудного диапазона

Построим осциллограммы сигналов при частотах:

$$F = 0.1 \cdot F_0 = 270 \text{ Гц}, F = F_0 = 2700 \text{ Гц}, F = F_0 \cdot 10 = 27 \text{ кГц}$$

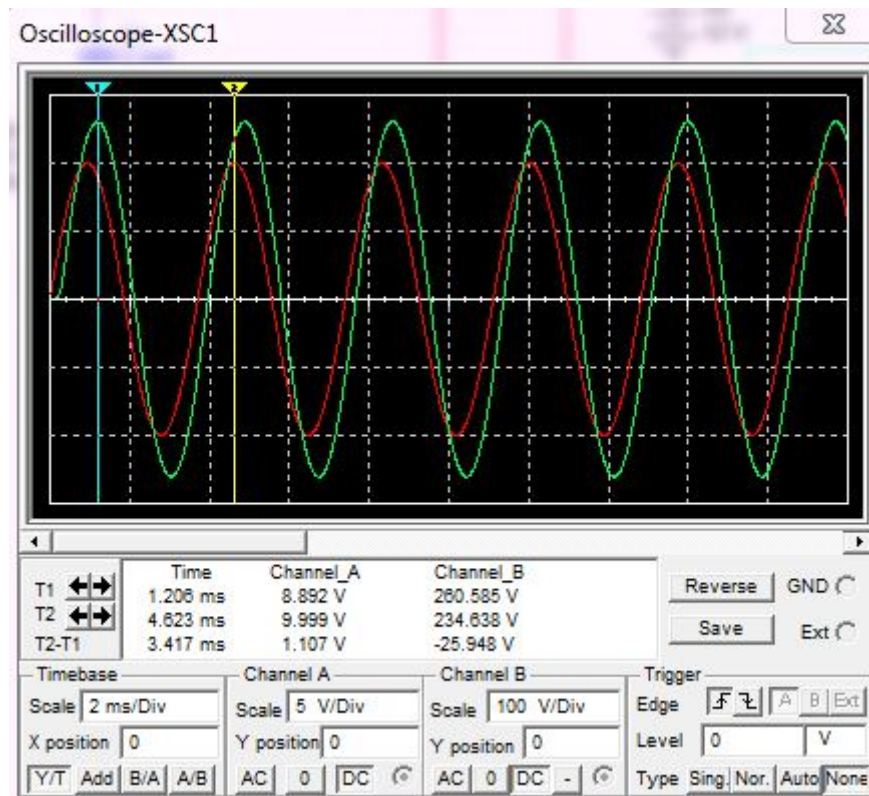


Рисунок 4.2.1 – Осциллограммы при частоте 270 Гц

Соотношение амплитуд $260.585/10 = 26.1$ значение практически совпадает с $K_0=26.2$.

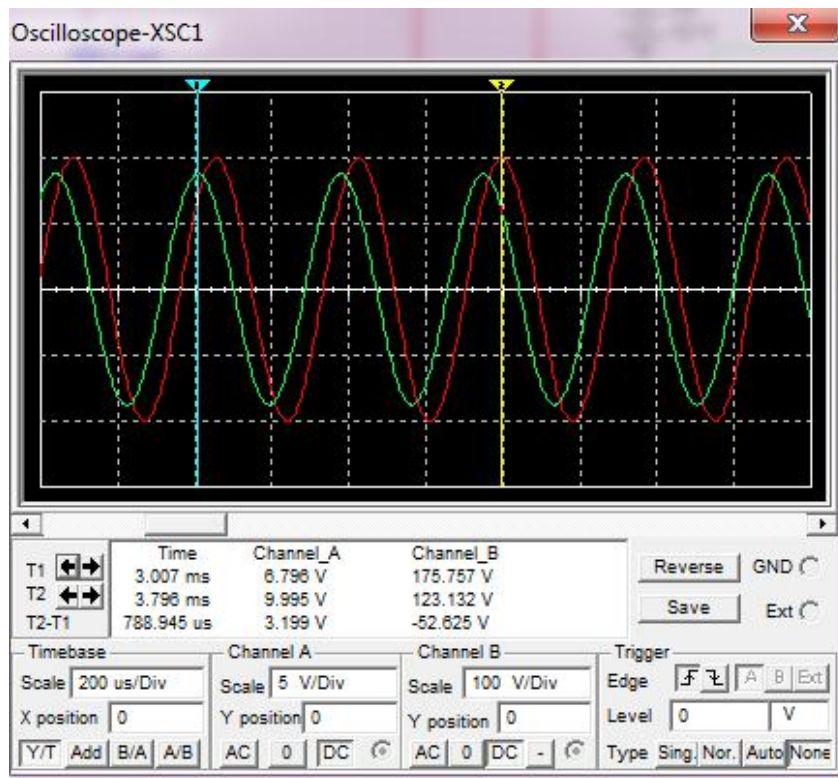


Рисунок 4.2.2– Осциллограммы при частоте 2700Гц

Соотношение амплитуд $175.757/9.995=17.59$ меньше заявленного коэффициента усиления в 1.489 раза. Теоретически сигнал должен ослабиться в $\sqrt{2}$ раз.

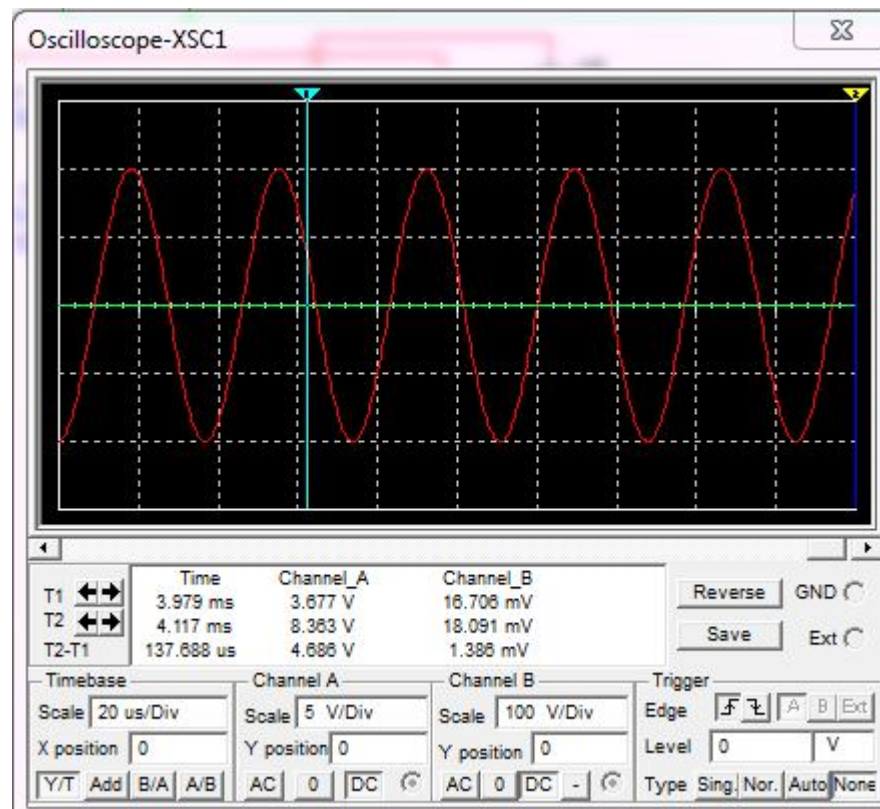


Рисунок 4.2.3 – Осциллограммы при частоте 27 кГц

Фильтр не пропускает высоких частот.

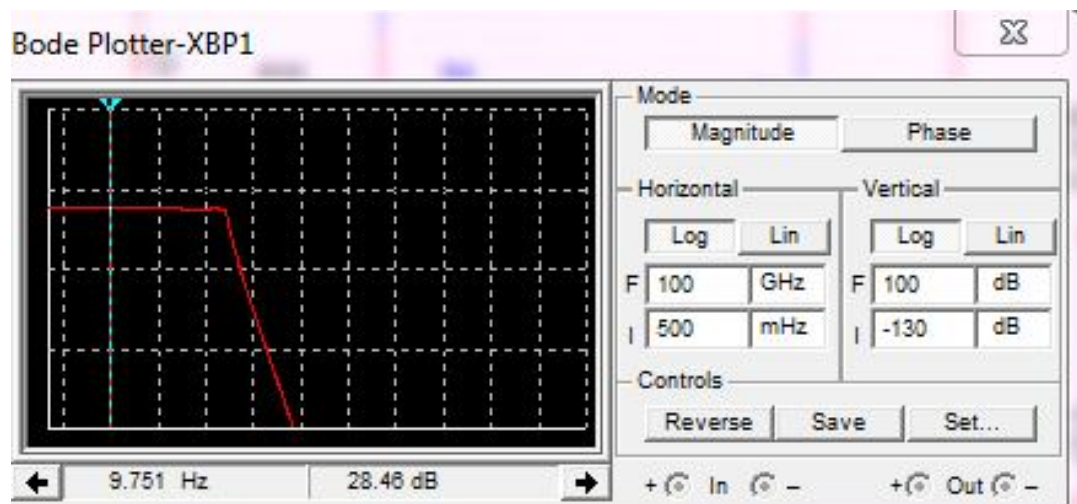


Рисунок 4.2.4 - АЧХ фильтра

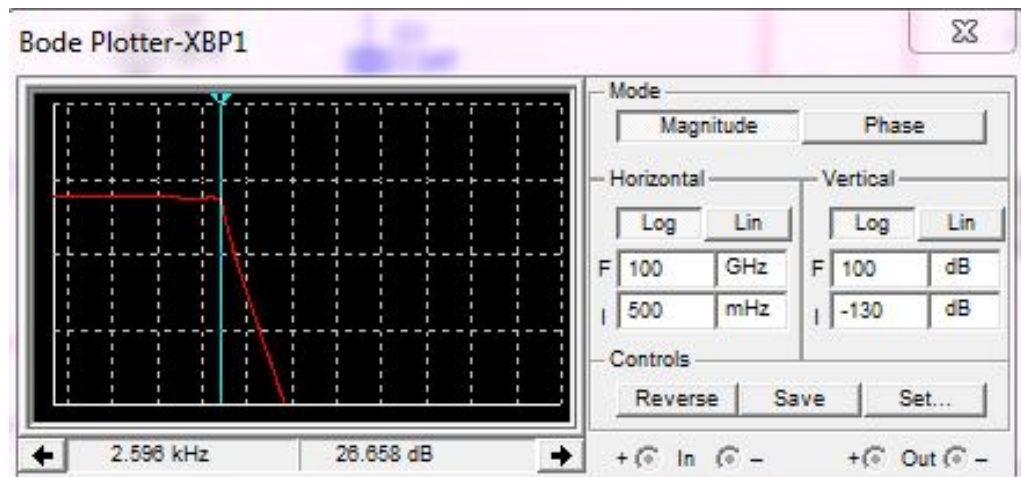


Рисунок 4.2.5 - АЧХ фильтра

АЧХ не имеет колебания, на характеристике 28.46дБ примерно соответствует заявленному коэффициенту усилителя $20\lg 26.2=28.36$. На частоте среза ослабление примерно равно $28.46-26,658=1,802\text{дБ}$.

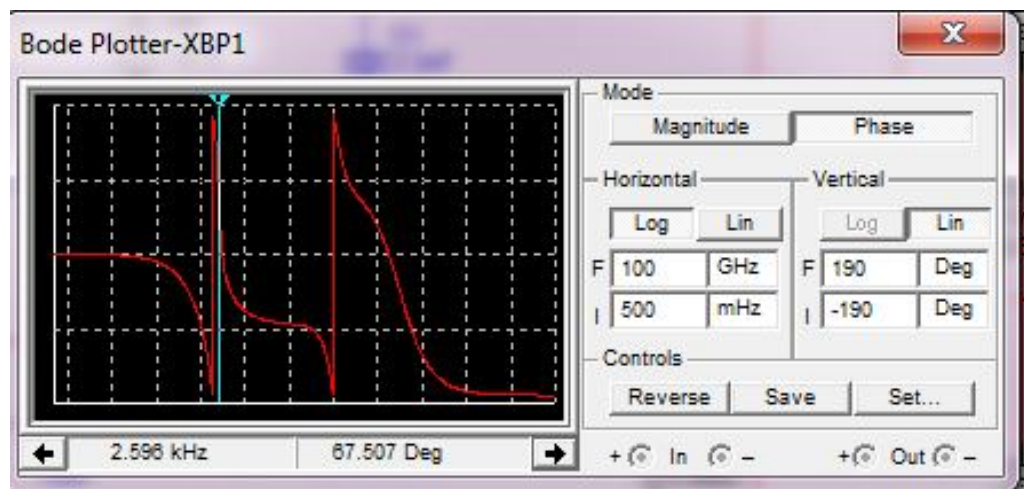


Рисунок 4.2.6 - ФЧХ фильтра

По Рисунку 4.2.6 видно, что фазовый сдвиг равен примерно 68 градусам.

Переходная характеристика фильтра имеет следующий вид:



Рисунок 4.2.7 – Переходная характеристика фильтра

Исследование работы фильтра при треугольном входном сигнале с частотой, находящейся в полосе пропускания фильтра

Осциллограмма имеет следующий вид:

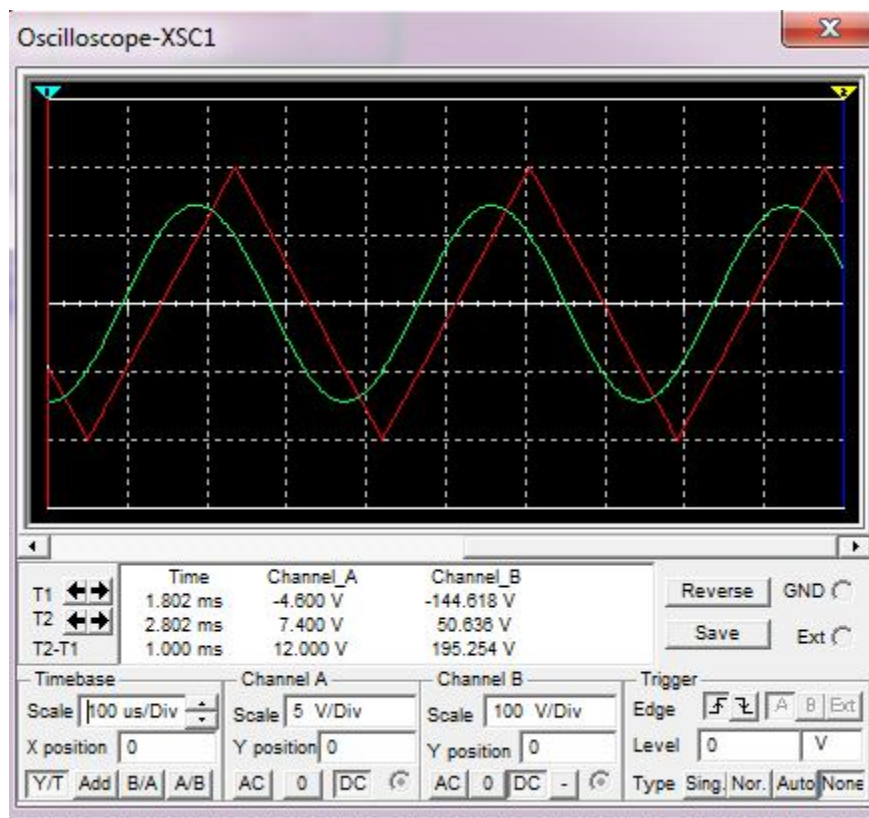


Рисунок 4.2.8 – Реакция фильтра на треугольный сигнал частотой 2700Гц

При прохождении через фильтр треугольный сигнал искажается из-за различных фазовых сдвигов гармоник.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вывод: Мною был спроектирован активный фильтр низких частот 5-го порядка. Также были исследованы характеристики фильтра и его работоспособность. Фильтр не удалось сделать с заданным коэффициентом усиления, из-за расхождения расчетов с реальными элементами, но проверив расчеты в схеме с виртуальными элементами мы получаем заданный коэффициент усиления. Мы убедились, что спроектированный нами фильтр не пропускает высокие частоты.

6 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Книги

1. Водовозов, А.М. Основы электроники. – Вологда, ВоГТУ, 2002 г.
2. Зааль, Р. Справочник по расчету фильтров. – М. Радио и связь, 1983 г.
4. Мошиц, Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров/ Г.Мошиц, П. Хорн. – М., Мир, 1984 г.
5. Титце, У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника/ У.Титце, К. Шенк. – М., Мир., 1982 г.
6. Введение в Multisim. Режим доступа: <http:\\Ccsfs\\publish\\Методические указания\\Электроника>.
7. Методические рекомендации по оформлению выпускных квалификационных работ, курсовых проектов/работ для очной, очно-заочной (вечерней) и заочной форм обучения.- Вологда, ВоГТУ, 2012 г.

Ресурсы удалённого доступа

1. Характеристики операционных усилителей AD [Электронный ресурс]: справочная информация.- Режим доступа: <http://www.chipdip.ru/search/library/?searchtext=Analog+Devices>
2. Характеристика операционного усилителя AD3224AM [Электронный ресурс]: онлайн-информация.- Режим доступа: <http://www.doc.chipfind.ru/ad/ad3554am.htm>