

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Половко Игорь Валерьевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Сравнение расчётной и измеренной амплитудно-частотной  
характеристики полосового фильтра**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19304

**Научный руководитель:**

к. ф.-м. н. В. В. Максимов

Оценка научного руководителя

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума**

С. В. Туманов

Оценка преподавателя практикума

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск 2020

## **Сравнение расчётной и измеренной амплитудно-частотной характеристики полосового фильтра**

**Половко Игорь Валерьевич**

Физический факультет. Электромагнитный практикум. Курсовая работа.

Группа № 19304, 3 семестр, 2020 год.

Научный руководитель:

к. ф.-м. н. **Максимов Владимир Васильевич**

### **Аннотация**

Целью данной работы является сравнение расчётной и измеренной амплитудно-частотной характеристик полосового фильтра. Была построена АЧХ на основе измерений отношения амплитуды выходящего и входящего сигналов при разных частотах. Также была построена теоретическая АЧХ по известным параметрам фильтра. Были определены погрешности измерений. Теоретические данные согласуются с экспериментальными.

Ключевые слова: полосовой фильтр, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

## Оглавление

Элементы оглавления не найдены.

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| 1. Введение.....                                       | 4  |
| 2. Теоретическая часть.....                            | 5  |
| 2.1. Фильтры высоких и низких частот.....              | 5  |
| 2.2. Амплитудно-частотные характеристики фильтров..... | 5  |
| 2.3. Полосовой фильтр.....                             | 7  |
| 3. Экспериментальная часть.....                        | 8  |
| 3.1. Экспериментальные данные.....                     | 8  |
| 3.2. Погрешности в работе.....                         | 9  |
| 4. Заключение.....                                     | 10 |
| 5. Литература.....                                     | 10 |

## 1. Введение

В обработке сигналов фильтр - это устройство или процесс, который удаляет некоторые нежелательные компоненты или функции из сигнала. Чаще всего это удаление некоторых частот или полос частот. Однако фильтры действуют не только в частотной области; особенно в области обработки изображений существует много других целей для фильтрации. Фильтры широко используются в электронике и телекоммуникациях, в радио, телевидении, звукозаписи, радиолокации, системах управления, синтезе музыки, обработке изображений и компьютерной графике.

Существует множество различных основ классификации фильтров, и они пересекаются по-разному; простой иерархической классификации не существует. Фильтры могут быть:

- нелинейный или линейный
- аналоговый или цифровой
- дискретный или непрерывный
- пассивный или активный

Частотная характеристика может быть классифицирована по тому, какие частотные полосы пропускает фильтр (полоса пропускания) и какие он отклоняет (стоп-полоса):

- Фильтр нижних частот - пропускаются низкие частоты, затухают высокие
- Фильтр высоких частот - пропускаются высокие частоты, ослабляются низкие
- Полосовой фильтр - пропускаются только частоты в полосе частот
- Пробковый фильтр - ослабляются только частоты в полосе частот

Дадим определение амплитудно-частотной характеристики. АЧХ это зависимость амплитуды выходящего сигнала системы или устройства от частоты входящего гармонического сигнала. Проще говоря, если

синусоидальная волна вводится в систему на заданной частоте, линейная система будет реагировать на ту же частоту с определенной величиной и определенным фазовым углом относительно входа. Также для линейной системы удвоение амплитуды входного сигнала удвоит амплитуду выходного. Кроме того, если система инвариантна по времени, то АЧХ также не будет меняться со временем.

В данной работе рассматривается простейший линейный аналоговый пассивный полосовой фильтр, состоящий из двух резисторов одинакового сопротивления и двух конденсаторов одинаковой ёмкости.

## 2. Теоретическая часть.

### 2.1. Фильтры высоких и низких частот.

Благодаря тому что импеданс (сопротивление) конденсаторов (и индуктивностей) зависит от частоты, с их помощью можно строить частотно избирательные схемы. Например, четырехполюсник, изображенный на рис. 1, слева, хорошо пропускает сигнал низкой частоты (емкость – разрыв цепи для постоянного тока) и плохо пропускает высокочастотный сигнал (емкость – короткое замыкание для высоких частот). Четырехполюсник, изображенный на рисунке 1, справа, ведет себя “с точностью до наоборот”. При высокой частоте конденсатор – хорошо проводящий элемент цепи – и сигнал с  $U_{in}$  достигает  $U_{out}$ , а для низких – “разрыв” и сигнала на  $U_{out}$  нет.

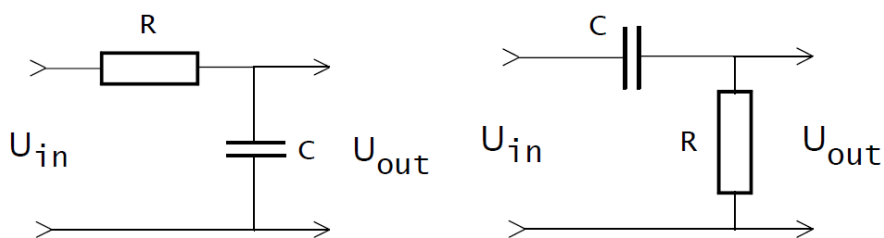


Рис. 1. Фильтры низких (слева) и высоких (справа) частот

### 2.2. Амплитудно-частотные характеристики фильтров

Для анализа амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) цепей с сосредоточенными параметрами удобно воспользоваться формализмом комплексных сопротивлений. В этом случае импедансы будут равны:

резистора  $Z_R = R$ , емкости  $Z_C = 1/i\omega C$  ( $i$  – мнимая единица). Закон Ома для комплексных величин записывается в привычном виде. Поэтому фильтр низких частот, или ФНЧ может быть представлен как простой делитель напряжения, но на резисторах, сопротивление которых зависит от частоты. Тогда сигнал на выходе мы можем записать как

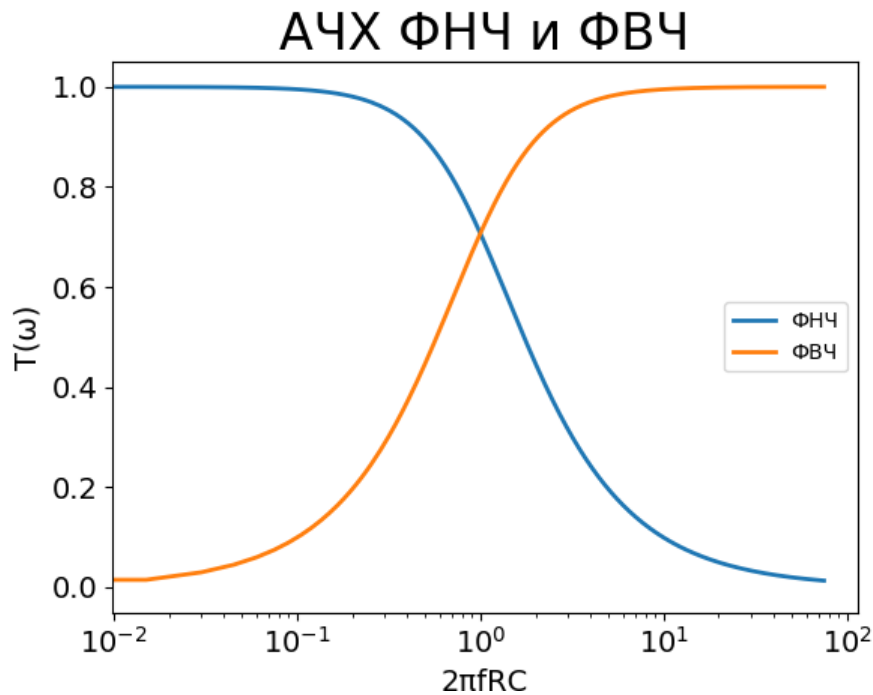
$$U_{\text{вых}} = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} U_{\text{вх}} = \frac{1}{1 + i\omega RC} U_{\text{вх}} = T(\omega) U_{\text{вх}}.$$

Основной характеристикой четырехполюсников в качестве фильтров является передаточная функция  $T = U_{\text{out}} / U_{\text{in}}$ . Комплексную передаточную функцию  $T(\omega) = |T(\omega)| \cdot \exp(i\phi(\omega))$  можно трактовать следующим образом. Амплитуда передаточной функции  $|T(\omega)|$  описывает изменение выходного сигнала по амплитуде. Фазовая функция  $\phi(\omega)$  описывает сдвиг фаз между входным и выходным сигналами. Эти две функции  $|T(\omega)|$  и  $\phi(\omega)$  полностью описывают действие нашей схемы. Разлагая входной сигнал на отдельные гармонические составляющие, подвергая их действию передаточной функции  $T(\omega)$  и суммируя эти гармоники, мы получим выходной сигнал. Для ФНЧ передаточная функция

$$|T(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}}$$

Аналогично рассуждая, получаем передаточную функцию для ФВЧ

$$|T(f)| = \frac{(2\pi f RC)}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}}.$$



### 2.3. Полосовой фильтр

Полосовой фильтр является последовательной комбинацией фильтров низких и высоких частот. Найдём его передаточную функцию

$$U_{\text{вых}} = \frac{Y_0}{Y_0 + Z_C} \cdot \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} U_{\text{вх}},$$

$$|T(f)| = \frac{(2\pi f RC)}{\sqrt{1 + 7 \cdot (2\pi f RC)^2 + (2\pi f RC)^4}},$$

где  $Y_0 = \frac{R(1 + i\omega RC)}{1 + 2i\omega RC}$ .

Схема полосового фильтра и его передаточная функция показаны на рис. 3.

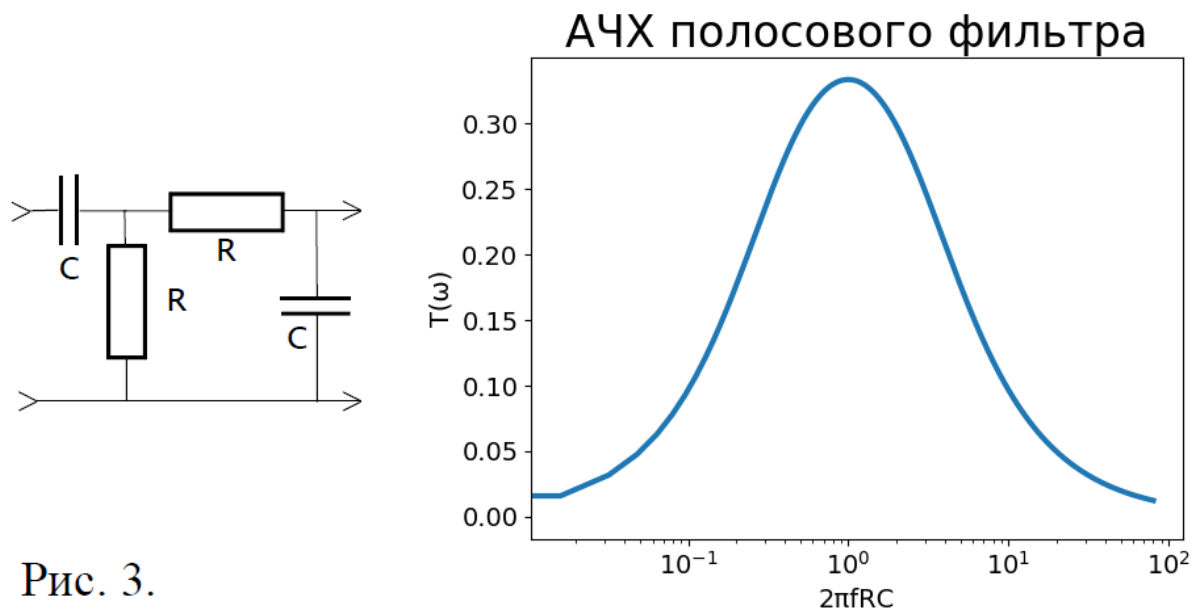


Рис. 3.

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Экспериментальные данные

На вход фильтра подавался синусоидальный сигнал от генератора, выходной сигнал рассматривался на осциллографе.

Нам известна ёмкость конденсаторов и сопротивление резисторов, составляющих полосовой фильтр.

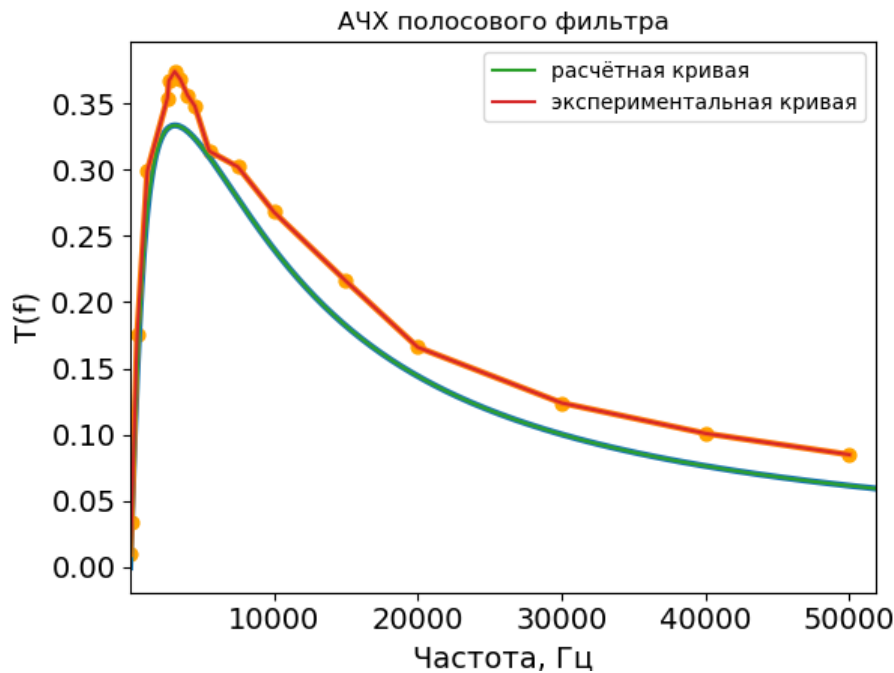
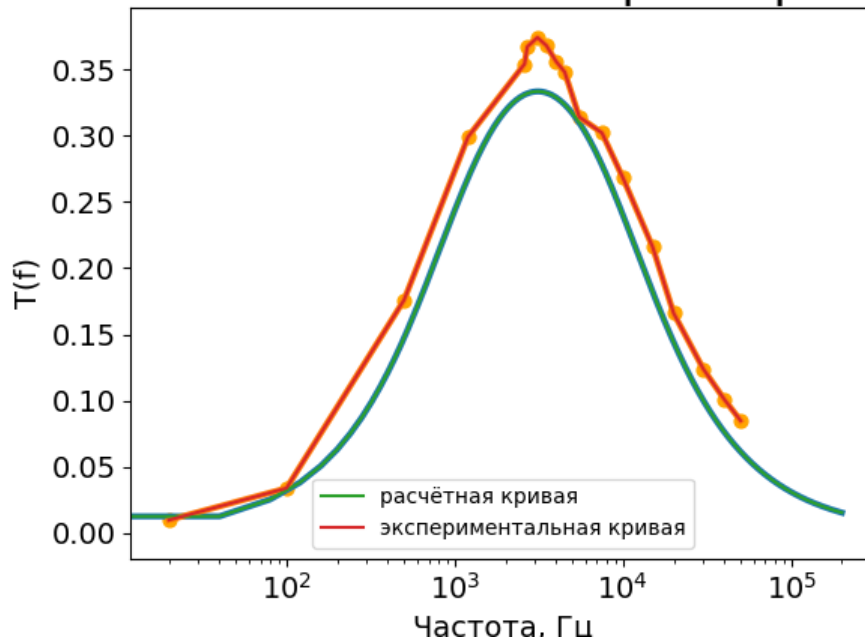
$$R = 510 \text{ Ом}$$

$$C = 0.1 \text{ мкФ}$$

Подставив эти значения в формулу для расчёта передаточной функции, получим расчётную АЧХ. Для получения экспериментальной АЧХ были проведены измерения  $U_{out}/U_{in}$  на различных частотах.



## АЧХ полосового фильтра

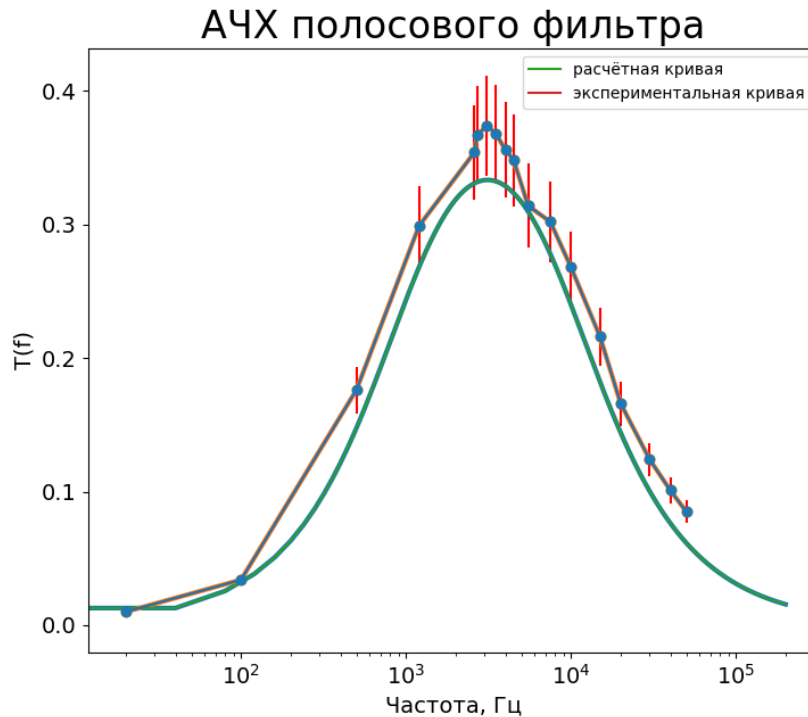


### 3.2. Погрешности в работе

- Погрешность осциллографа и генератора (3% каждый прибор)
- Погрешность элементов экспериментальной установки. Возможно, значения сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов изменились за время использования установки.

- Нестабильность напряжения (значение амплитуды подаваемого сигнала за секунду могло измениться несколько раз от 1 В до 1.08 В).

Построим графики с указанием погрешности приборов:



#### 4. Заключение

Была построена АЧХ простейшего полосового фильтра двумя способами. В первом случае работа производилась при помощи генератора и осциллографа. Во втором случае была найдена формула для передаточной функции. Следует отметить, что практически все экспериментальные значения амплитуды выходящего сигнала были несколько выше, чем расчётные значения. Однако, с учётом погрешностей, оба способа дают одинаковый результат.

#### 5. Литература

1. Сивухин Д.В. *Общий курс физики*. М: Физмалит: Изд-во МФТИ 2002. Т. 3: Электричество
2. В. А. Shenoi, *Introduction to Digital Signal Processing and Filter Design*, John Wiley & Sons, 2005