

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Дзюбина Таисия Павловна

КУРСОВАЯ РАБОТА

Исследование амплитудно-частотной характеристики RC-фильтров

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19305

Научный руководитель:

ассистент, С. Е. Краснопевцев

Оценка научного руководителя

« _____ » _____ 20__ г.

Преподаватель практикума:

к.ф.-м.н. А. А. Симонов

Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

« _____ » _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью данной работы являлось изучение работы пассивных электронных фильтров, построение их амплитудно-частотной характеристики и сравнение экспериментальных данных с теоретическим значением. В ходе данной работы были построены цепи, содержащие фильтры высоких и низких частот, а также полосовой фильтр и фильтр низких частот, составленный из многих звеньев. Для каждого из фильтров была построена амплитудно-частотная характеристика на основе экспериментальных данных, а также выведено выражение для коэффициента передачи по напряжению, основанное на параметрах цепи.

Ключевые слова: амплитудно-частотная характеристика, фильтр, частота, коэффициент передачи, напряжение.

Работа выполнена в Межфакультетской лаборатории электричества и магнетизма Кафедры общей физики Физического факультета НГУ.

Оглавление

Введение.....	4
1. Теоретическая часть.....	4
1.1. Фильтр нижних частот.....	4
1.2. Фильтр высоких частот.....	5
1.3. Полосовой фильтр.....	6
1.4. Фильтр нижних частот, составленный из многих звеньев.....	7
2. Экспериментальная часть.....	7
2.1. Описание установки.....	7
2.2. Порядок выполнения эксперимента.....	7
2.3. Обработка результатов.....	8
Вывод.....	10
Список литературы.....	10

Введение

Целью данной работы являлось изучение различных пассивных электронных фильтров и их амплитудно-частотных характеристик (далее АЧХ), а также сравнение экспериментально полученной АЧХ с теоретическим значением.

Фильтр в электронике — устройство для выделения желательных компонент спектра и/или подавления нежелательных.

Пассивный фильтр состоит только из пассивных компонентов цепи, таких как резистор, конденсатор или катушка индуктивности и не требует никакого источника энергии для своего функционирования.

Одной из основных характеристик фильтра является его АЧХ. Изменяя частоту входного синусоидального сигнала и контролируя амплитуды сигнала на входе и на выходе фильтра, можно построить коэффициент передачи фильтра как функцию, зависящую от частоты:

$$K(\omega) = \frac{U_{out}}{U_{in}} \quad (1)$$

где ω - круговая частота, равная $2\pi f$.

1. Теоретическая часть

1.1. Фильтр нижних частот

Для фильтра нижних частот характерно то, что входные сигналы низких частот, начиная с постоянных сигналов, передаются на выход, а сигналы высоких частот задерживаются.

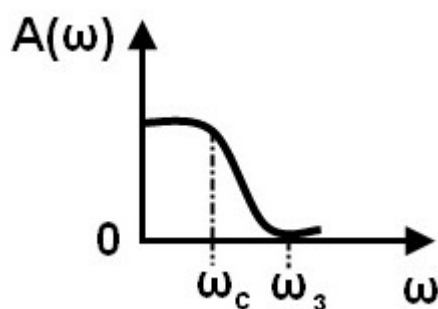


Рис.1. АЧХ фильтра нижних частот

На рис.1 представлена АЧХ фильтра нижних частот. Полоса пропускания лежит в пределах от нулевой частоты до частоты среза ω_c . Обычно частоту среза определяют как частоту, на которой величина $A(\omega)$ равна 0,707 от максимального значения. Полоса задержания начинается от частоты задержания ω_z и продолжается до бесконечности. В ряде случаев частоту задерживания определяют как частоту, на которой величина $A(\omega)$ меньше максимального значения в 100 раз.

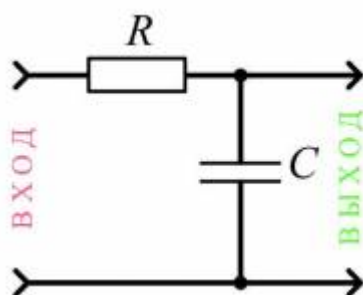


Рис. 2. Схема фильтра нижних частот

На рис. 2 изображена схема простейшего RC-фильтра нижних частот. По второму закону Кирхгофа справедливы уравнения:

$$U_{in} = I(R + Z_c)$$

$$U_{out} = IZ_c$$

откуда следует, что

$$U_{out} = U_{in} \frac{Z_c}{(R + Z_c)}$$

Теперь незатруднительно найти выражение для коэффициента передачи по напряжению:

$$K(\omega) = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{Z_c}{(R + Z_c)} = \frac{1}{(i\omega CR + 1)}$$

Тогда выражение для модуля коэффициента будет равно:

$$|K(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad (2)$$

1.2. Фильтр высоких частот

Фильтр высоких частот пропускает на выход сигналы верхних частот и блокирует сигналы нижних частот. Его АЧХ представлена на рис.3.

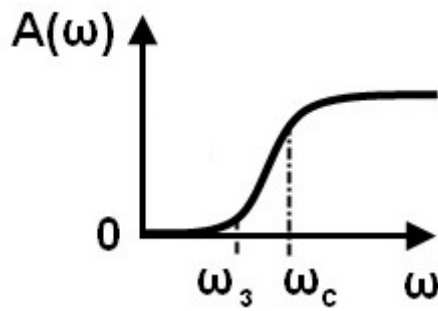


Рис. 3. АЧХ фильтра высоких частот

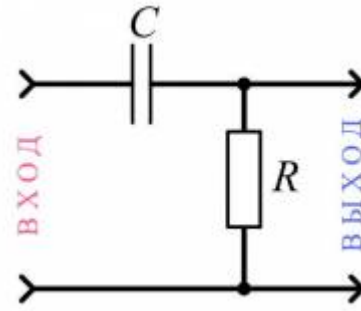


Рис. 4. Схема фильтра высоких частот

По схеме фильтра высоких частот (рис. 4), составим уравнения для второго закона Кирхгофа:

$$U_{in} = I(R + Z_c)$$

$$U_{out} = IR$$

Теперь найдем выражение для коэффициента передачи по напряжению и его модуль:

$$K(\omega) = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{R}{(R + Z_c)} = \frac{i\omega CR}{i\omega CR + 1}$$

$$|K(\omega)| = \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad (3)$$

1.3. Полосовой фильтр

Если фильтр нижних частот и фильтр верхних частот соединены последовательно друг за другом, они образуют полосовой фильтр, который пропускает частоты только в определенной полосе частот и не пропускает частоты за пределами этой полосы. Пример такого фильтра представлен на рис.5.

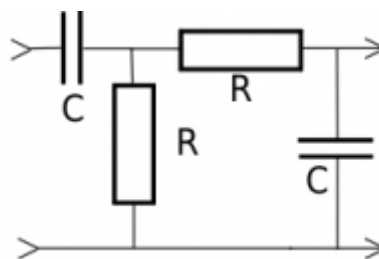


Рис. 5. Схема полосового фильтра

По первому и второму законам Кирхгофа справедливы следующие уравнения для данной схемы:

$$U_{in} = I_0 Z_c + I_1 R$$

$$U_{out} = I_2 Z_c$$

$$I_1 R = I_2 (R + Z_c)$$

$$I_0 = I_1 + I_2$$

Тогда выражение для коэффициента передачи и его модуль будут иметь вид:

$$K(\omega) = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{1}{3 + \frac{R}{Z_c} + \frac{Z_c}{R}} = \frac{1}{3 + i\left(\omega CR - \frac{1}{\omega CR}\right)}$$

$$|K(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{9 + \left(\omega CR - \frac{1}{\omega CR}\right)^2}} \quad (4)$$

1.4. Фильтр низких частот, составленный из многих звеньев

Фильтр низких частот, составленный из многих звеньев, представляет собой два и более фильтра низких частот, соединенных последовательно. Схема (рис.6) такого фильтра и выражение для его коэффициента передачи представлены ниже:

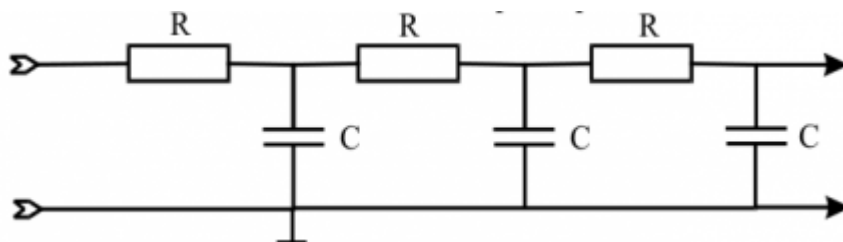


Рис. 6. Схема фильтра низких частот, составленного из многих звеньев

$$K(\omega) = \frac{Z_c^3}{Z_c^3 + R^3 - 5R^2 Z_c + 6R Z_c^2} = \frac{1}{1 - i(\omega CR)^3 + 5(\omega CR)^2 + 6i\omega CR}$$

$$|K(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + 46(\omega CR)^2 + 13(\omega CR)^4 + (\omega CR)^6}} \quad (5)$$

2. Экспериментальная часть

2.1. Описание установки

Установка состоит из генератора, осциллографа и набора радиотехнических схем, подключенных таким образом, чтобы контролировать амплитуду и частоту входного напряжения и измерять параметры выходного.

2.2. Порядок выполнения эксперимента

Для работы были выбраны четыре схемы, представляющие собой пассивные фильтры низких и высоких частот, а также пассивный полосовой фильтр и пассивный фильтр низких частот, составленный из многих звеньев. Затем было установлено входное напряжение в 5В и проведены измерения отношения амплитуд входного и выходного сигнала в диапазоне от 0.1 Гц до 100000 Гц. Следом были построены графики зависимости отношения амплитуд от частоты для каждого из представленных фильтров.

Параметры цепи:

- Фильтр низких частот: $R = 1,8 \text{ кОм}$, $C = 220 \text{ нФ}$;
- Фильтр высоких частот: $R = 1,8 \text{ кОм}$, $C = 220 \text{ нФ}$;
- Полосовой фильтр: $R = 510 \text{ Ом}$, $C = 0,1 \text{ мкФ}$;
- Фильтр низких частот, составленный из многих звеньев: $R = 1,8 \text{ кОм}$, $C = 0,1 \text{ мкФ}$.

2.3. Обработка результатов

На основе экспериментальных данных о зависимости отношения амплитуд входного и выходного сигналов от частоты были построены АЧХ для каждого из представленных фильтров. На эти же графики для сравнения были помещены теоретические значения коэффициента передачи, выведенные мной в выражениях (2), (3), (4) и (5).

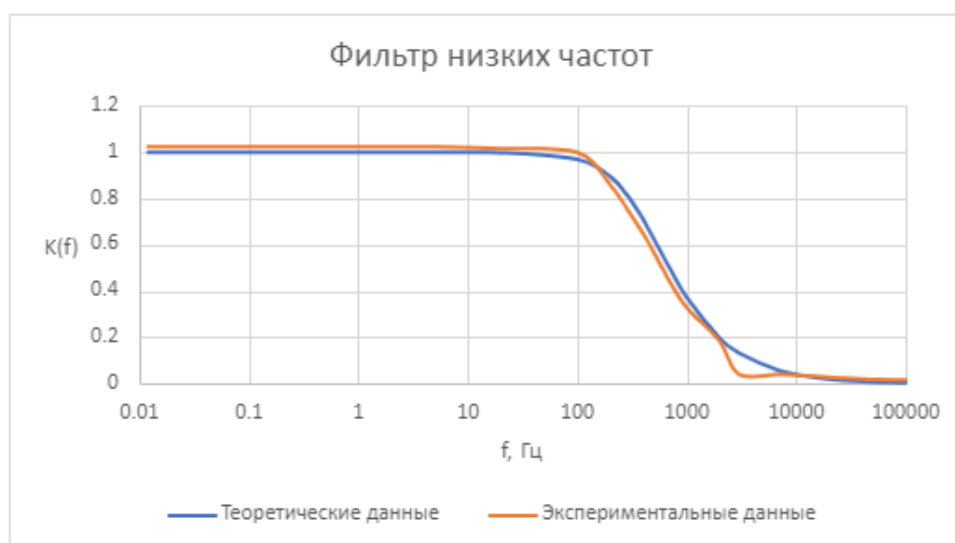


Рис. 7. АЧХ фильтра низких частот

По рис. 7 видно, что экспериментальные данные практически совпадают с теоретическими значениями. Также мы можем определить полосу пропускания, которая лежит в диапазоне от 0 Гц до частоты среза $f_c \approx 400$ Гц, и полосу задержания, начинающуюся от частоты задержания $f_3 \approx 40000$ Гц и продолжающуюся до бесконечности.

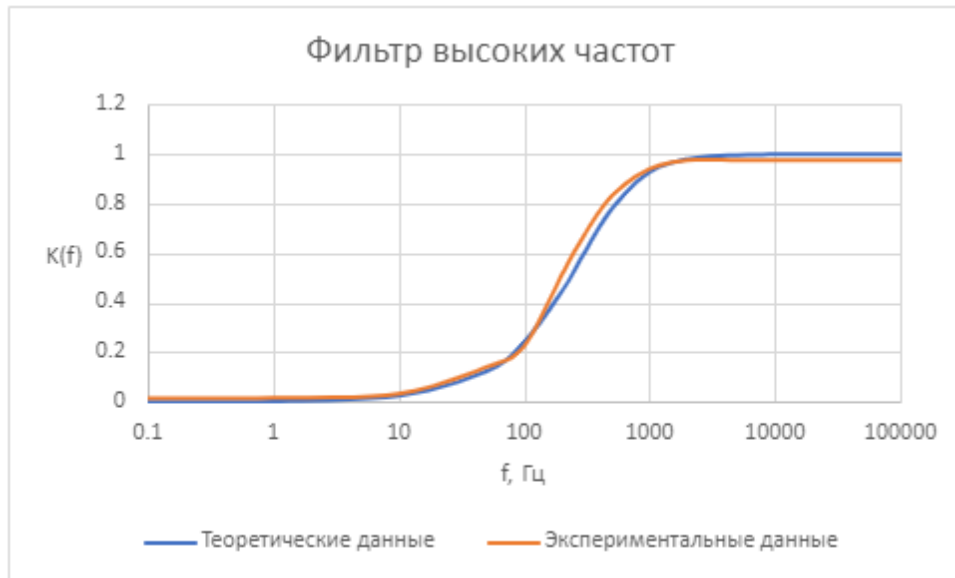


Рис. 8. АЧХ фильтра высоких частот

Для фильтра высоких частот теоретические значения и экспериментальные данные, также почти идентичны. Полоса задержания начинается от 0 Гц и заканчивается на частоте $f_3 \approx 1$ Гц, а полоса пропускания лежит в диапазоне от $f_c \approx 400$ Гц.

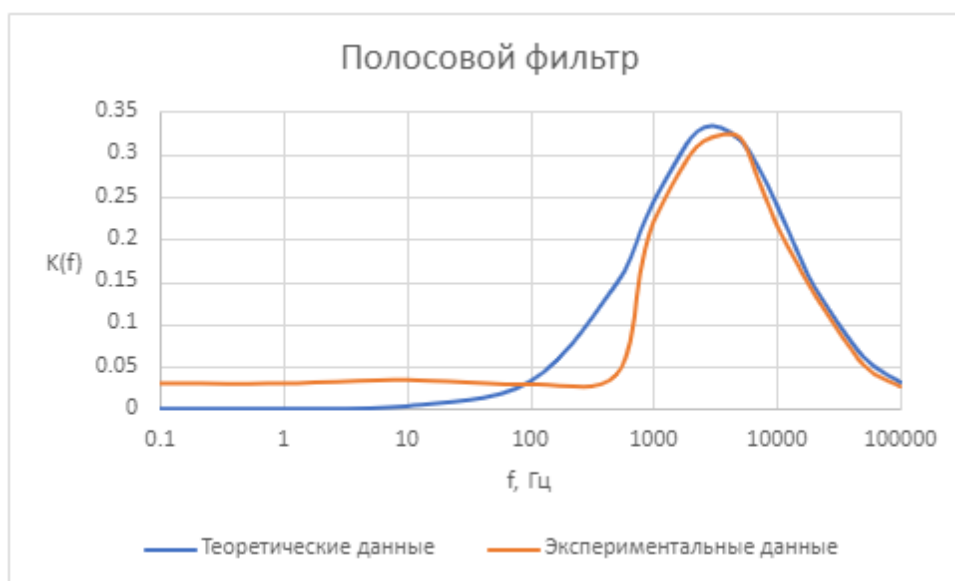


Рис. 9. АЧХ полосового фильтра

Для полосового фильтра полоса пропускания, полученная на практике, совпадает с теоретической полосой пропускания. Она находится в диапазоне от $f_{c1} \approx 1000$ Гц до $f_{c2} \approx 10000$ Гц.

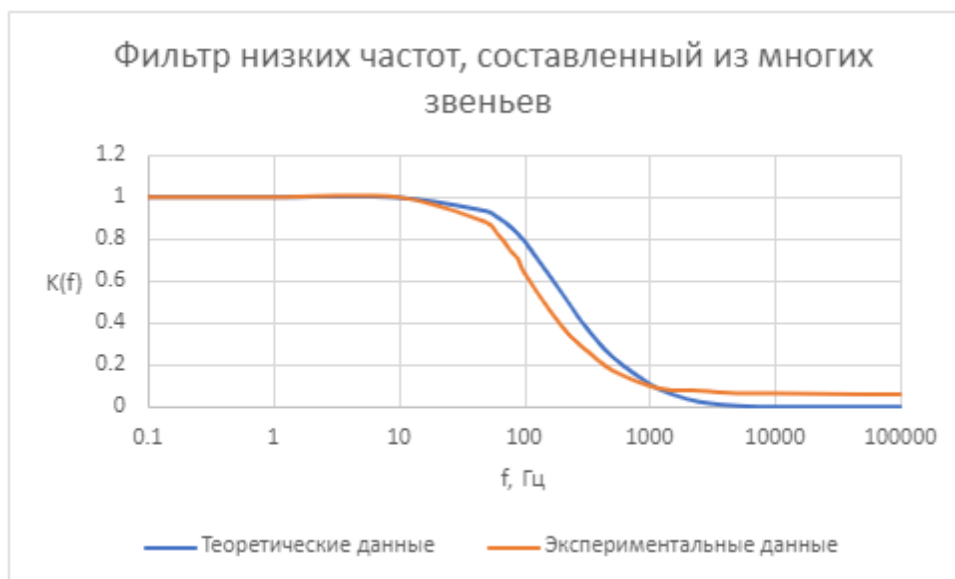


Рис. 10. АЧХ фильтра низких частот, составленного из многих звеньев

Для фильтра низких частот, составленного из многих звеньев, полоса пропускания начинается с 0 Гц, а заканчивается на частоте среза $f_c \approx 150$ Гц в теории, $f_c \approx 90$ Гц на практике.

Неидентичность экспериментальных и теоретических данных может быть вызвана неучтенным сопротивлением соединительных проводов, также, осциллограф не является идеальным вольтметром, так как не обладает бесконечным внутренним сопротивлением, что в свою очередь искажает полученные измерения.

Вывод

Мною были выведены выражения для коэффициента передачи по напряжению для четырех различных фильтров, значения которых были сравнены и оказались почти идентичными с экспериментальными данными.

Список литературы

1. <https://pue8.ru/silovaya-elektronika/878-klassifikatsiya-filtrov-po-vidu-ikh-amplitudno-chastotnykh-kharakteristik.html>
2. <https://elmag.nsu.ru/doku.php?id=lab5:lab5>