

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Шугалевский Александр Валерьевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изучение влияния параметров RC, RL цепочек на характеристику
выходного сигнала.**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19312

Научный руководитель:

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 работы было изучение влияния параметров RL и RC цепей на характеристики выходного сигнала. Были получены осциллограммы для прямоугольных, пилообразных и синусоидальных входящих сигналов. Построены АЧХ выходных сигналов для ФНЧ и ФВЧ. Было произведено сравнение значений, полученных экспериментально и теоретически. Для измерений были использованы: осциллограф, генератор сигналов низкой частоты, набор электрических схем, включающих в себя такие компоненты как: активное, реактивное и индуктивное сопротивления. Данная работа необходима для получения представления о влиянии RL и RC цепей на сигнал, возможных их применений, а также оценки возможности пренебрежения собственным, относительно малым сопротивлением некоторых компонентов.

Ключевые слова: сопротивление, индуктивность, RL и RC цепи.

Оглавление	
Введение	4
Основная часть	4
Теоретическая часть	4
Интегрирующие и дифференцирующие цепи	4
Фильтры	7
Методика измерения	8
Результаты обработки данных	9
Простые интегрирующие и дифференцирующие цепочки	9
Построение амплитудно-частотных характеристик фильтров низкой и высокой частоты, полосового фильтра	11
Влияние внутреннего сопротивления индуктивности на параметры дифференцирования RL цепи	13
Заключение	14
Список использованной литературы	14

Введение

RC цепь – цепь, включающая в себя резистор и конденсатор, RL цепь – включающая в себя резистор и индуктивность. RL и RC цепи влияют на проходящий через них сигнал в зависимости от их конфигурации. Простые RL и RC цепи, состоящие из одного сопротивления и одной индуктивности или конденсатора, называют интегрирующими или дифференцирующими цепочками RL или RC. Выходной сигнал дифференцирующей цепи – график производной входящего сигнала, выходной сигнал интегрирующей цепи – график интеграла, взятого от входящего сигнала. Интегрирующая цепь так же является фильтром нижних частот, дифференцирующая цепь – фильтром верхних частот. Более сложные схемы, составленные из тех же компонентов, могут по-разному влиять на сигнал. В данной работе были рассмотрены некоторые из них: полосовой фильтр, фильтр низких частот, составленный из многих звеньев. Кроме того, было изучено влияние внутреннего (омического) сопротивления катушки индуктивности на параметры дифференцирования RL цепи.

Основная часть

Теоретическая часть

Интегрирующие и дифференцирующие цепи.

Простые RC и RL цепи являются интегрирующими или дифференцирующими цепями, в зависимости от способа подключения элементов.

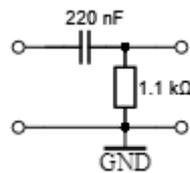


Рис. 1 Дифференцирующая RC цепочка.

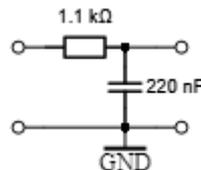


Рис. 2 Интегрирующая RC цепочка.

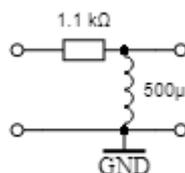


Рис. 3 Дифференцирующая RL цепочка.

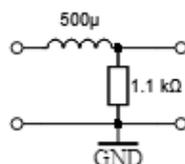
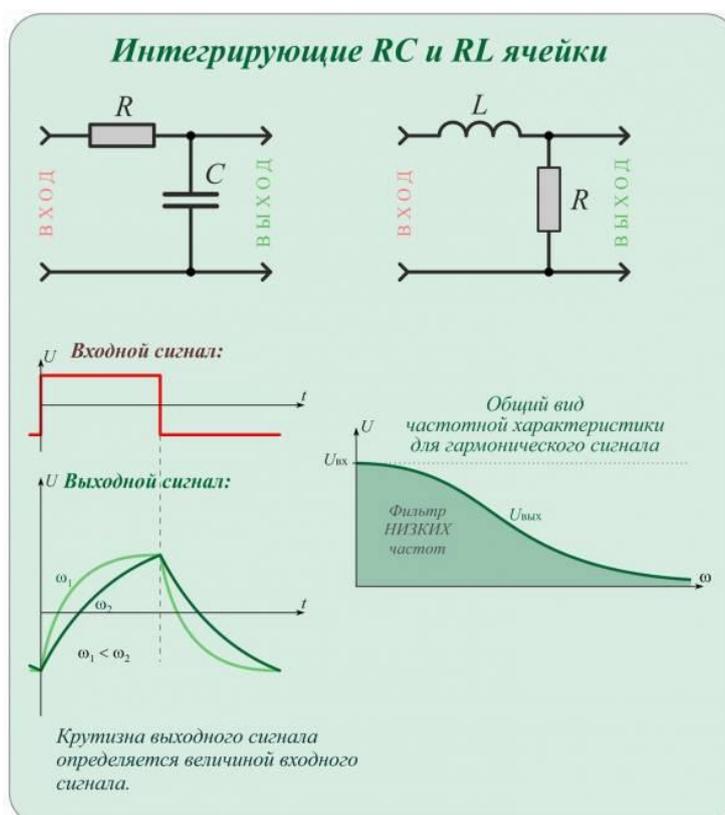


Рис. 4 Интегрирующая RL цепочка.

Они так же являются простыми фильтрами низких или верхних частот.

Рассмотрим изменение формы сигнала при его прохождении через интегрирующую RC цепочку [1].



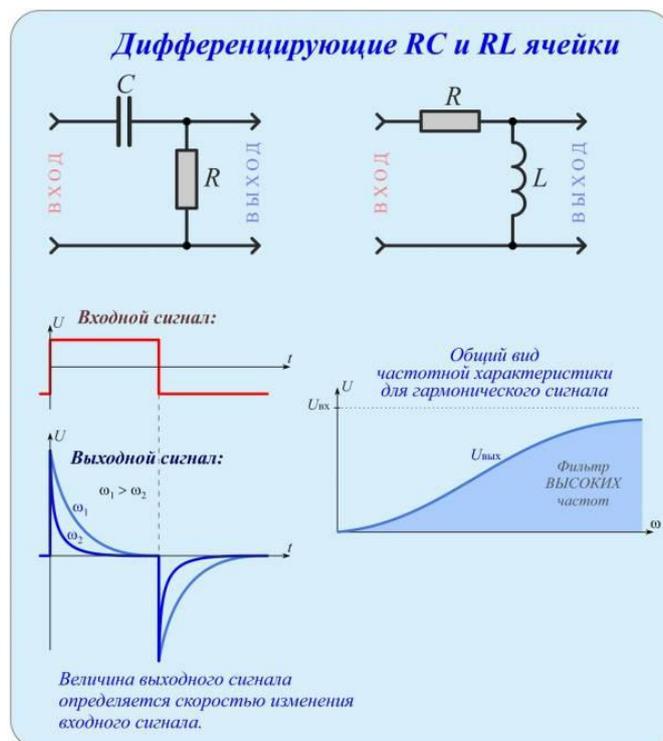
Параметры цепочки подобраны таким образом, что падение напряжения на конденсаторе много меньше величины входного сигнала $U(t)$.

Величина тока в цепи $I(t) \approx \frac{U(t)}{R}$ и падение напряжения на конденсаторе выглядит следующим образом: $U_c(t) \approx \frac{q_c(t)}{C} = \frac{1}{C} \int I(t) dt = \frac{1}{RC} \int U(t) dt$.

Выходной сигнал пропорционален интегралу по времени от входного сигнала, поэтому подобную цепочку называют «интегрирующей». Для этого необходимо выполнение следующего критерия: характерное время входного сигнала $\tau \ll RC$, где R и C — параметры интегрирующей цепочки.

Если падение напряжения в цепи практически полностью определяется емкостью, $\frac{q}{C} = U(t)$, тогда ток в цепи равен $I = C \frac{dU}{dt}$.

В этом случае, используя в качестве выходного сигнала напряжение на сопротивлении, получаем аналоговую дифференцирующую цепочку:



$$U_R(t) = RC \frac{dU}{dt}.$$

Для справедливости этого приближения необходимо выполнение условия: характерное время входного сигнала $\tau \gg RC$.

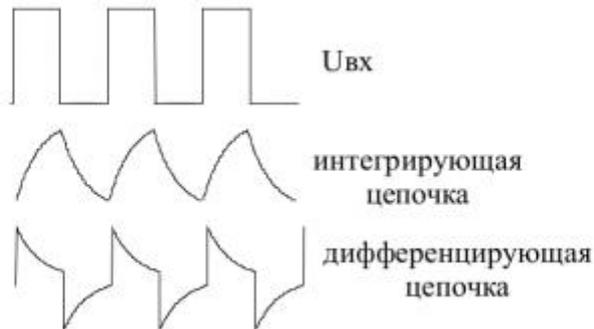
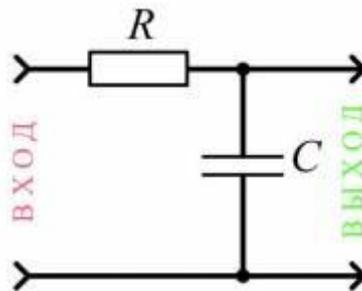


Рис 2. Пример формы импульсов напряжения $U_{\text{вых}}$ для различных цепей.

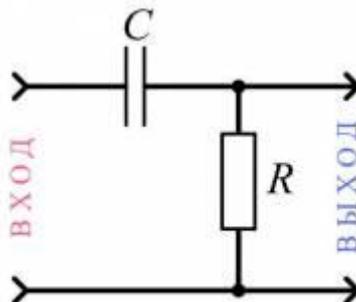
На рис. 2 показан пример возможной формы импульсов при $R \cdot C \approx \tau$ для различных цепей.

Фильтры

Благодаря тому, что импеданс (сопротивление) конденсатора $Z_C \sim \omega^{-1}$ и индуктивности $Z_L \sim \omega$ зависят от частоты, можно, используя разные их комбинации, строить частотно-зависимые делители напряжения, которые будут пропускать только сигналы нужной частоты, а все остальные подавлять. В зависимости от назначения различают фильтры верхних или нижних частот, полосовые или заградительные (обозначаются соответственно ФВЧ, ФНЧ, ПФ, ЗФ). Например, цепочка:



хорошо пропускает низкие частоты (конденсатор в этом случае является практически «разрывом» в цепи) и плохо — высокие (ФНЧ), когда сопротивление конденсатора сильно падает. Цепочка:



задерживает низкие частоты, а высокие пропускает (ФВЧ).

Одной из основных характеристик фильтра является его амплитудно-частотная характеристика (АЧХ). Изменяя частоту входного синусоидального сигнала и контролируя амплитуды сигналов на входе и на выходе фильтра, можно построить коэффициент передачи фильтра $\frac{U_{out}}{U_{in}}$ как функцию частоты. Так как входной сигнал может быть представлен как сумма некоторого числа гармоник, то АЧХ несет информацию о том, как фильтр преобразует сигнал произвольной формы. Для получения полной информации о преобразовании сигнала необходимо дополнительное знание фазово-частотной характеристики (ФЧХ).

Методика измерения

Описание установки

Установка включала в себя цифровой осциллограф с встроенной памятью, генератор сигнала низкой частоты, электрические схемы, включающие в себя

активное, реактивное и индуктивное сопротивления.

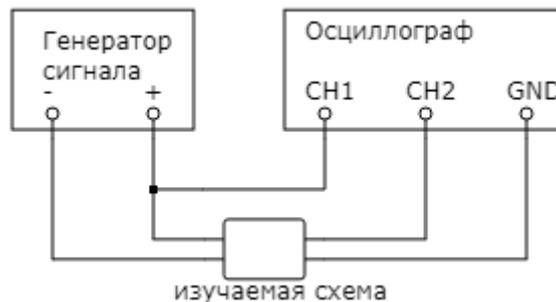


Рис. 5 Схема установки

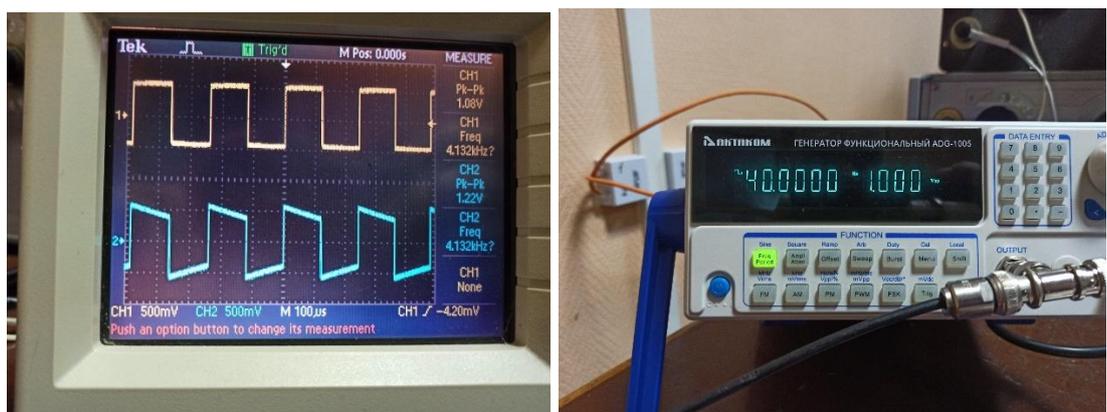


Рис. 6 Осциллограф и генератор сигнала

Генератор низкой частоты способен выдавать прямоугольный, пилообразный и синусоидальный сигнал. Для каждой схемы определялся диапазон измерений, затем для нескольких частот из этого диапазона сохранялись осциллограммы исходного сигнала и сигнала после прохождения

через схему. Амплитуда исходного сигнала для всех измерений была одинаковой. Файлы с осциллографа были обработаны с помощью вспомогательной программы на языке Python. Были построены графики АЧХ и графики осциллограмм некоторых сигналов для дальнейшего исследования.

Результаты обработки данных

Простые интегрирующие и дифференцирующие цепочки.

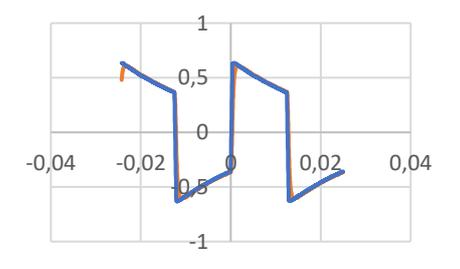
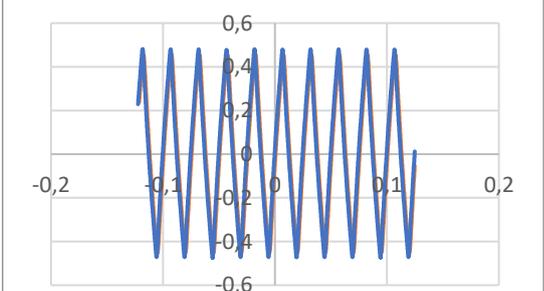
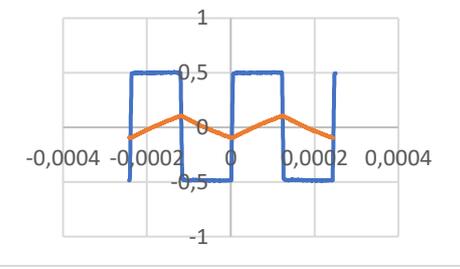
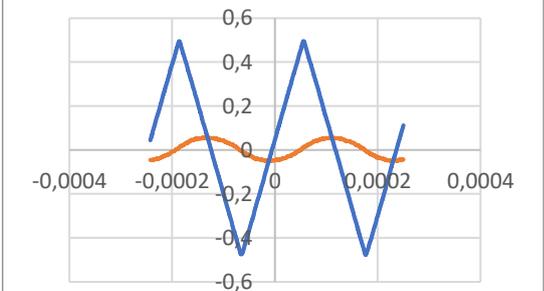
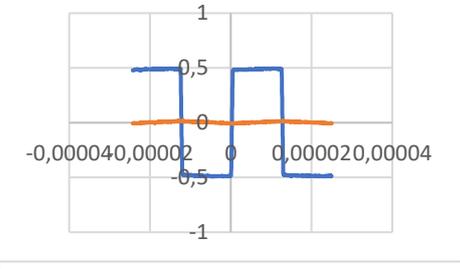
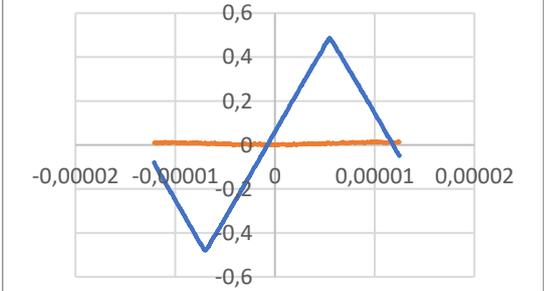
Для простых ФНЧ и ФВЧ были построены графики для трёх случаев:

$$f \gg 1/RC$$

$$f \approx 1/RC$$

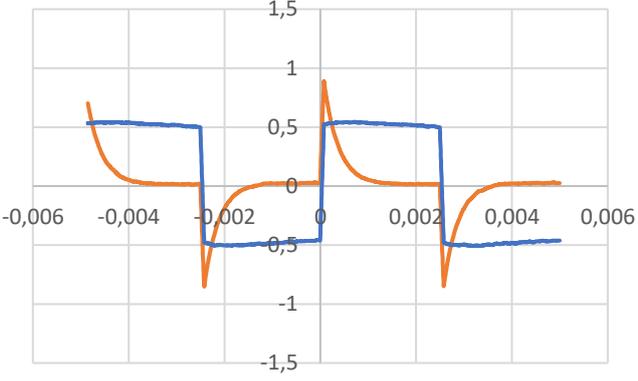
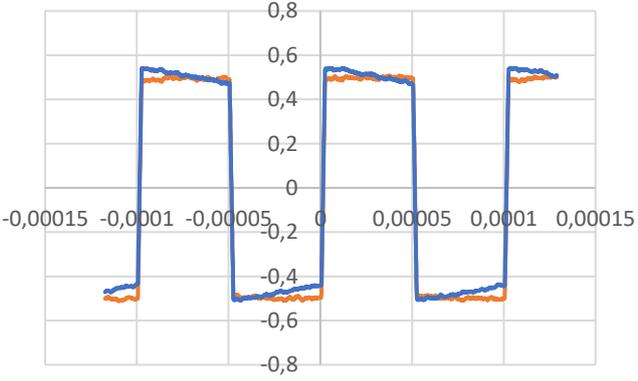
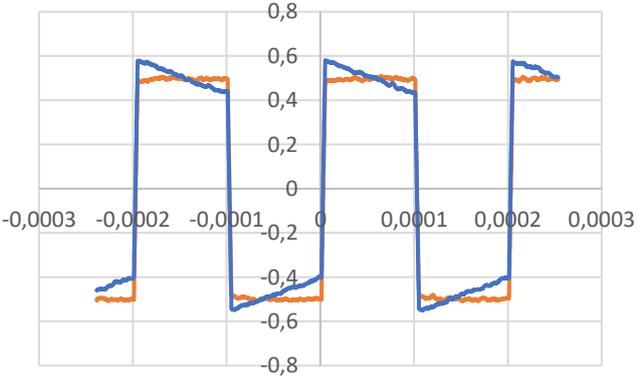
$$f \ll 1/RC$$

Таблица 1. Интегрирующая RC цепь.

Параметры измерений	Прямоугольный сигнал	Пилообразный сигнал
$f = 40 \text{ гц} \ll \frac{1}{RC}$ $A = 1 \text{ вольт}$		
$f = 40 \text{ КГц} \gg \frac{1}{RC}$ $A = 1 \text{ вольт}$		
$f = 4132 \text{ гц} \approx \frac{1}{RC}$ $A = 1 \text{ вольт}$		

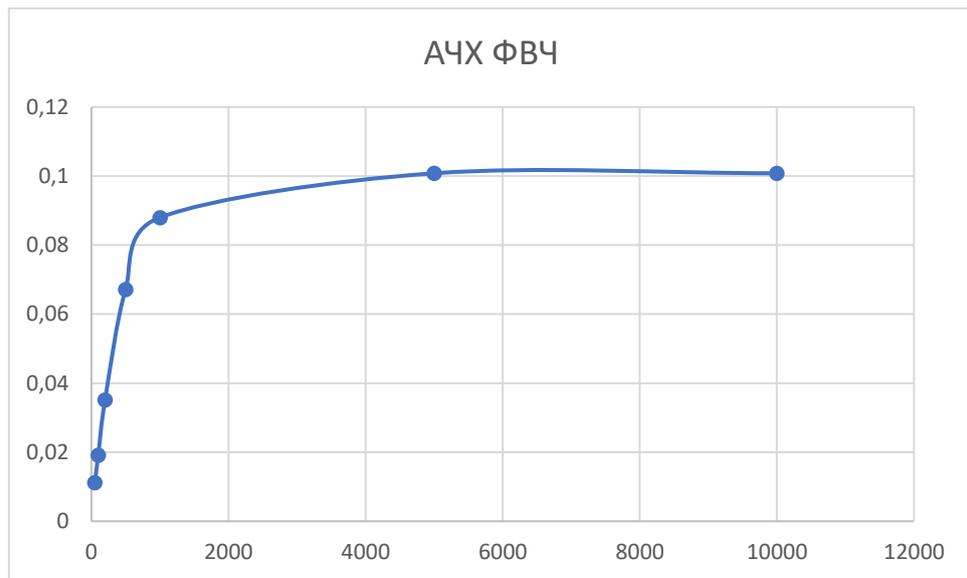
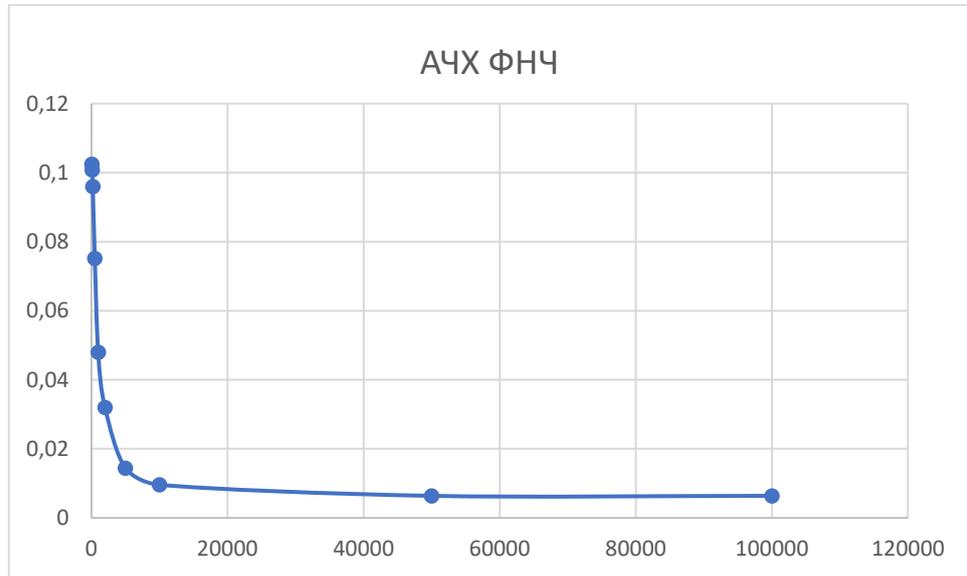
Для RC цепи характерное время выходного сигнала $\tau = RC$. В случае интегрирующей цепочки при условии $\tau \gg \frac{1}{f}$ выходной сигнал ведёт себя как интеграл от входного.

Таблица 2. Дифференцирующая RC цепь.

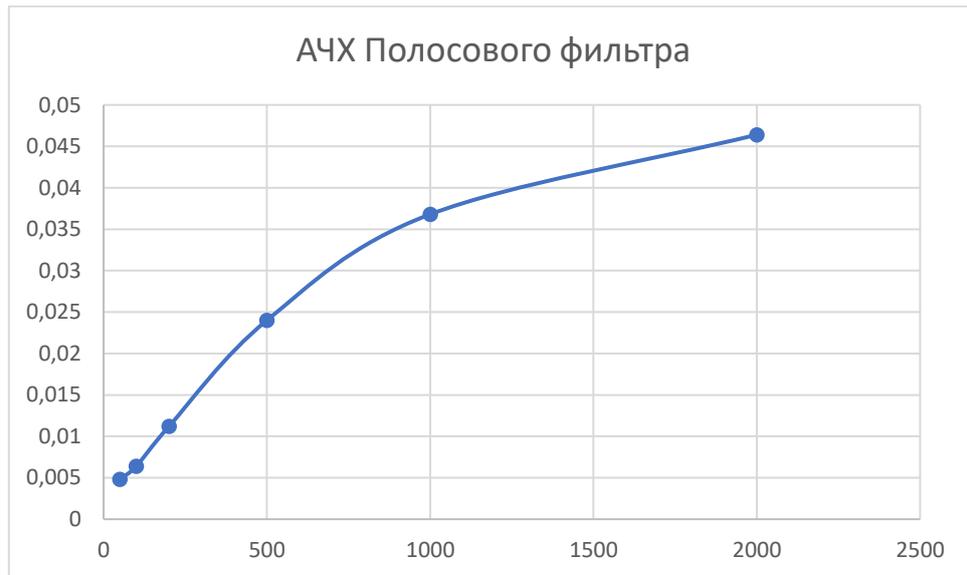
Параметры измерений	Прямоугольный сигнал
$f = 200 \text{ гц} \ll \frac{1}{RC}$ $A = 1 \text{ вольт}$	
$f = 10 \text{ КГц} \gg \frac{1}{RC}$ $A = 1 \text{ вольт}$	
$f = 5000 \text{ гц} \approx \frac{1}{RC}$ $A = 1 \text{ вольт}$	

В случае дифференцирующей цепочки при условии $\tau \ll \frac{1}{f}$ выходной сигнал ведёт себя как производная от входного.

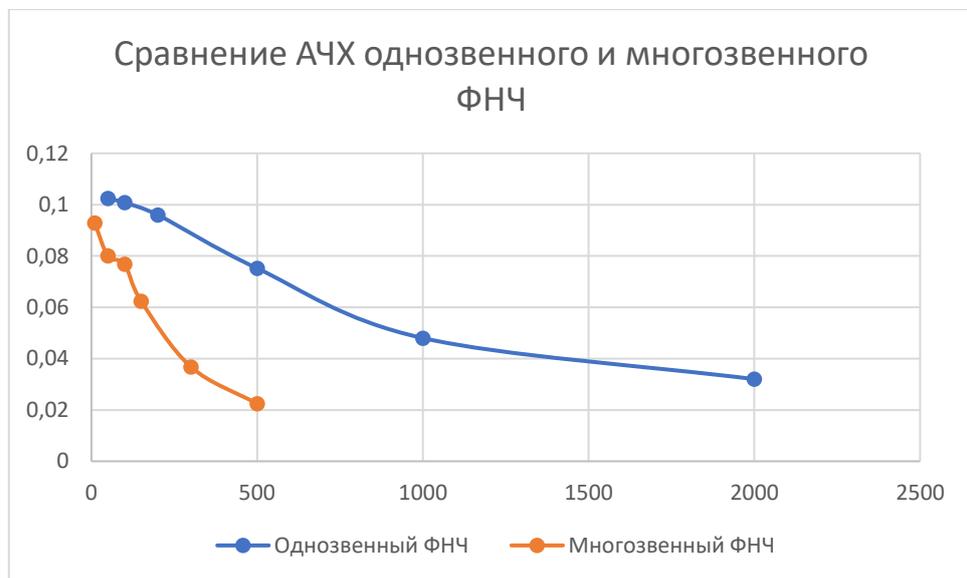
Построение амплитудно-частотных характеристик фильтров низкой и высокой частоты, полосового фильтра.



Построенные по результатам эксперимента АЧХ для ФВЧ и ФНЧ подтвердили теоретические предположения – ФНЧ позволяют пропускать сигналы низкой частоты и ослаблять сигналы высокой, для ФВЧ верно обратное.



Полосовой фильтр должен пропускать некоторую “полосу” частот и ослаблять сигнал при меньших и больших частотах. Полученное АЧХ полосового фильтра не даёт возможности подтвердить или опровергнуть это утверждение из-за неправильно выбранного диапазона частот. На полученном графике видно, что сигнал слабеет при меньших частотах, но из-за отсутствия данных для частот больше 2000 Гц сделать выводы не представляется возможным.



При сравнении АЧХ для ФНЧ с одним звеном и с тремя, видно, что многозвенный фильтр пропускает низкие частоты так же хорошо, как однозвенный, но амплитуда сигнала быстрее стремится к нулю с увеличением частоты.

Влияние внутреннего сопротивления индуктивности на параметры дифференцирования RL цепи.

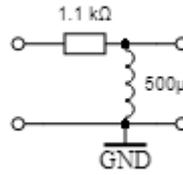


Рис. 8 Дифференцирующая RL цепочка.

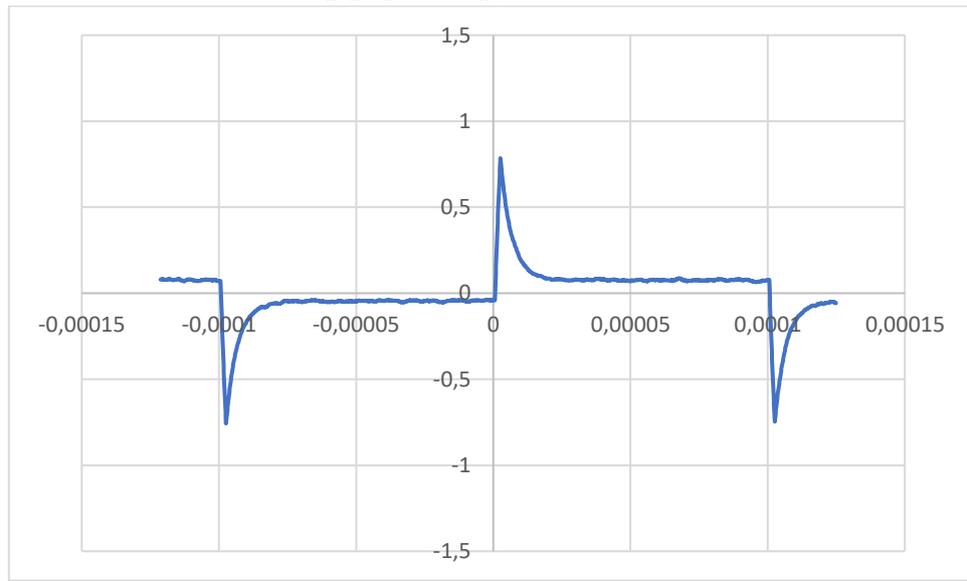


Рис. 9 Осциллограмма выходного сигнала. Входной сигнал прямоугольный с частотой $f=5\text{кГц}$

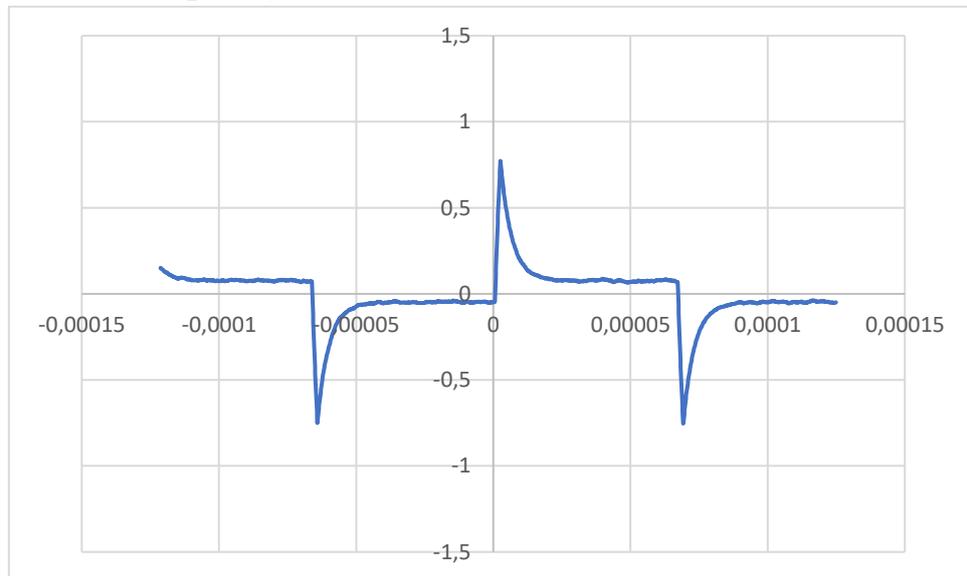


Рис. 10 Осциллограмма выходного сигнала. Входной сигнал прямоугольный с частотой $f=7,5\text{кГц}$.

Для RL цепочки τ - характерное время выходного сигнала (время, за которое сигнал изменится в e раз), можно рассчитать по формуле $\tau = \frac{L}{R}$.

Здесь $R = R_a + R_L$, где R – полное сопротивление цепи, R_a – активное сопротивление, R_L – внутреннее сопротивление катушки индуктивности. В расчётах часто считают, что $R_L \ll R_a$, тогда $R \sim R_a$. Проверим верно ли это для нашей схемы. Рассчитаем τ двумя способами – по теоретической формуле без учёта внутреннего сопротивления катушки и по полученным осциллограммам. Падение напряжения на катушке индуктивности на единичное ступенчатое воздействие с амплитудой V можно рассчитать по формуле

$$V_L(t) = V e^{-tR/L}$$

Для прямоугольного сигнала частотой 5кГц (Рис. 9) расчёт проводился следующим образом: Амплитуда сигнала после прохождения через схему составила 0,96 вольт. Величина установившегося сигнала после прохождения через схему составила 0,075. Падение напряжение составило $(0,96-0,075) \cdot (1-1/e) = 0,55$ вольт, соответственно $0,96-0,55=0,44$ величина сигнала через время τ . По графику характерное время – время, через которое сигнал уменьшится до 0,44 вольт, составило $4 \cdot 10^{-7}$ секунд. Значение, полученное по осциллограмме с частотой 7,5 кГц такого же порядка. По формуле $\tau = \frac{L}{R}$ без учёта внутреннего сопротивления катушки получаем значение $\tau = 9,8 \cdot 10^{-7}$. Отсюда следует, что внутреннее сопротивление катушки существенно влияет на характерное время. Можно оценить величину собственного сопротивления катушки, $\frac{L}{R} \approx 4 \cdot 10^{-7} \Rightarrow R \sim 100 \text{ Ом}$, $R_a = 51 \text{ Ом} \Rightarrow R_L \approx 49 \text{ Ом}$.

Заключение

Были получены осциллограммы для нескольких схем: интегрирующих RC цепочек, дифференцирующих RC и RL цепочек, полосового фильтра и фильтра низких частот, состоящего из нескольких звеньев. Построены АЧХ для ФНЧ и ФВЧ, ФНЧ из нескольких звеньев. Полученные АЧХ подтвердили ожидаемое действие фильтров. Для полосового фильтра подтвердить теорию не удалось из-за неверно выбранного диапазона частот. Изучено влияние внутреннего сопротивления катушки индуктивности на параметры дифференцирования.

Список использованной литературы

1. Вячеславов Л. Н., Курочкин В. Л., Рева В. Б., Смирных Л. Н. Электрические цепи. В. 5.
2. Мешков И.Н., Чириков Б.В., Электромагнитное поле. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987. том 2.
3. Тамм И.Е., Основы теории электричества. М.: Наука, 2003.
4. Хоровиц П., Хилл У., Искусство схемотехники. М.: Мир, 1993. Том 1.