

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

Институт Электроники и Телекоммуникаций

Высшая школа прикладной физики и космических технологий

Отчет по лабораторной работе №1

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ с использованием платформы NI ELVIS II»

Выполнили студенты группы 4931102/90601:

Сергеева Мария

Кузьмин Роман

Проверил: Л.Б. Лиокумович

Санкт-Петербург

2021г.

Введение

Цель работы: практическое изучение свойств простейших пассивных электрических цепей (последовательной RC-цепи и колебательного контура) и описывающих их параметров, приобретение навыков использования современных радиоизмерительных приборов и интерпретации результатов измерений.

Объект исследования: последовательная RC-цепь и колебательный контур.

Часть 1. Исследование RC-цепи в режиме гармонических колебаний

1.1. Измерение параметров элементов RC-цепи и оценка постоянной времени цепи

а) Записали в протокол номинальные значения сопротивления и емкости, указанные на резисторе и конденсаторе:

$$R_{ном1} = 1 \text{ кОм} = 10^3 \text{ Ом};$$

$$C_{ном1} = 100 \text{ нФ} = 10^{-7} \text{ Ф};$$

б) Измерили значения сопротивления резистора и емкости конденсатора при помощи мультиметра:

$$R_{изм1} = 0,99 \text{ кОм} = 0,99 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$C_{изм1} = 0,0937 \text{ мкФ} = 93,7 \text{ нФ} = 93,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф};$$

в) Рассчитали постоянную времени RC-цепи τ по формуле:

$$\tau = R \cdot C;$$

Для номинальных значений:

$$\tau_{ном} = R_{ном1} \cdot C_{ном1};$$

$$\tau_{ном} = 10^3 \text{ Ом} \cdot 10^{-7} \text{ Ф} = 10^{-4} \text{ с} = 100 \text{ мкс};$$

Для измеренных значений:

$$\tau_{изм} = R_{изм1} \cdot C_{изм1};$$

$$\tau_{изм} = 0,99 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot 93,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 9,276 \cdot 10^{-5} \text{ с} = 92,7 \text{ мкс};$$

Рассчитали частоту среза f_c по формуле:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot \tau} = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C};$$

Для номинальных значений:

$$f_{c_{ном}} = \frac{1}{2\pi \cdot \tau_{ном}};$$

$$f_{c_{ном}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-4}c} = 1591,549 \text{ Гц};$$

Для измеренных значений:

$$f_{c_{изм}} = \frac{1}{2\pi \cdot \tau_{изм}};$$

$$f_{c_{изм}} = \frac{1}{2\pi \cdot 9,276 \cdot 10^{-5}c} = 1715,771 \text{ Гц};$$

г) Сравнили измеренные значения параметров элементов $R_{изм1}, C_{изм1}$ с номинальными $R_{ном1}, C_{ном1}$:

$$R_{изм1} = 0,99 \text{ кОм} \cong R_{ном1} = 1 \text{ кОм (погрешность составляет 1\%)};$$

$$C_{изм1} = 93,7 \text{ нФ} \approx C_{ном1} = 100 \text{ нФ (погрешность составляет 6,3\%)};$$

Вывод: Измеренные значения параметров элементов $R_{изм1}, C_{изм1}$ совпадают с номинальными $R_{ном1}, C_{ном1}$ в пределах погрешности.

Сравнили величину постоянной времени τ , рассчитанную на основе измеренных значений сопротивления резистора $R_{изм1}$ и емкости конденсатора $C_{изм1}$, с оценками, полученными при подстановке в формулу номинальных значений этих элементов $R_{ном1}, C_{ном1}$:

$$\tau_{изм} = 92,7 \text{ мкс} < \tau_{ном} = 100 \text{ мкс (погрешность составляет 7,3\%)};$$

Вывод: Значение постоянной времени $\tau_{изм}$, рассчитанной на основании измеренных значений $R_{изм1}$ и $C_{изм1}$, меньше, чем значение постоянной времени $\tau_{ном}$, рассчитанной на основании номинальных значений элементов $R_{ном1}$ и $C_{ном1}$.

Сравнили частоту среза f_c , рассчитанную на основе измеренных значений сопротивления резистора $R_{изм1}$ и емкости конденсатора $C_{изм1}$, с оценками, полученными при подстановке в формулу номинальных значений этих элементов $R_{ном1}$, $C_{ном1}$:

$$f_{c_{изм}} = 1715,771 \text{ Гц} > f_{c_{ном}} = 1591,549 \text{ Гц} (\text{погрешность составляет } 7,2\%);$$

Вывод: Значение частоты среза $f_{c_{изм}}$, рассчитанной на основании измеренных значений $R_{изм1}$ и $C_{изм1}$, больше, чем значение частоты среза $f_{c_{ном}}$, рассчитанной на основании номинальных значений элементов $R_{ном1}$ и $C_{ном1}$.

1.2. Измерение АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи

а) Собрали схему для измерений согласно рисунку 1:

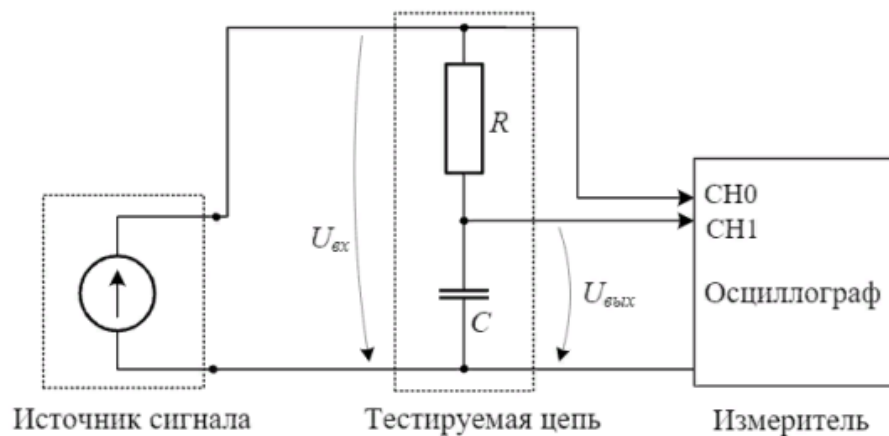
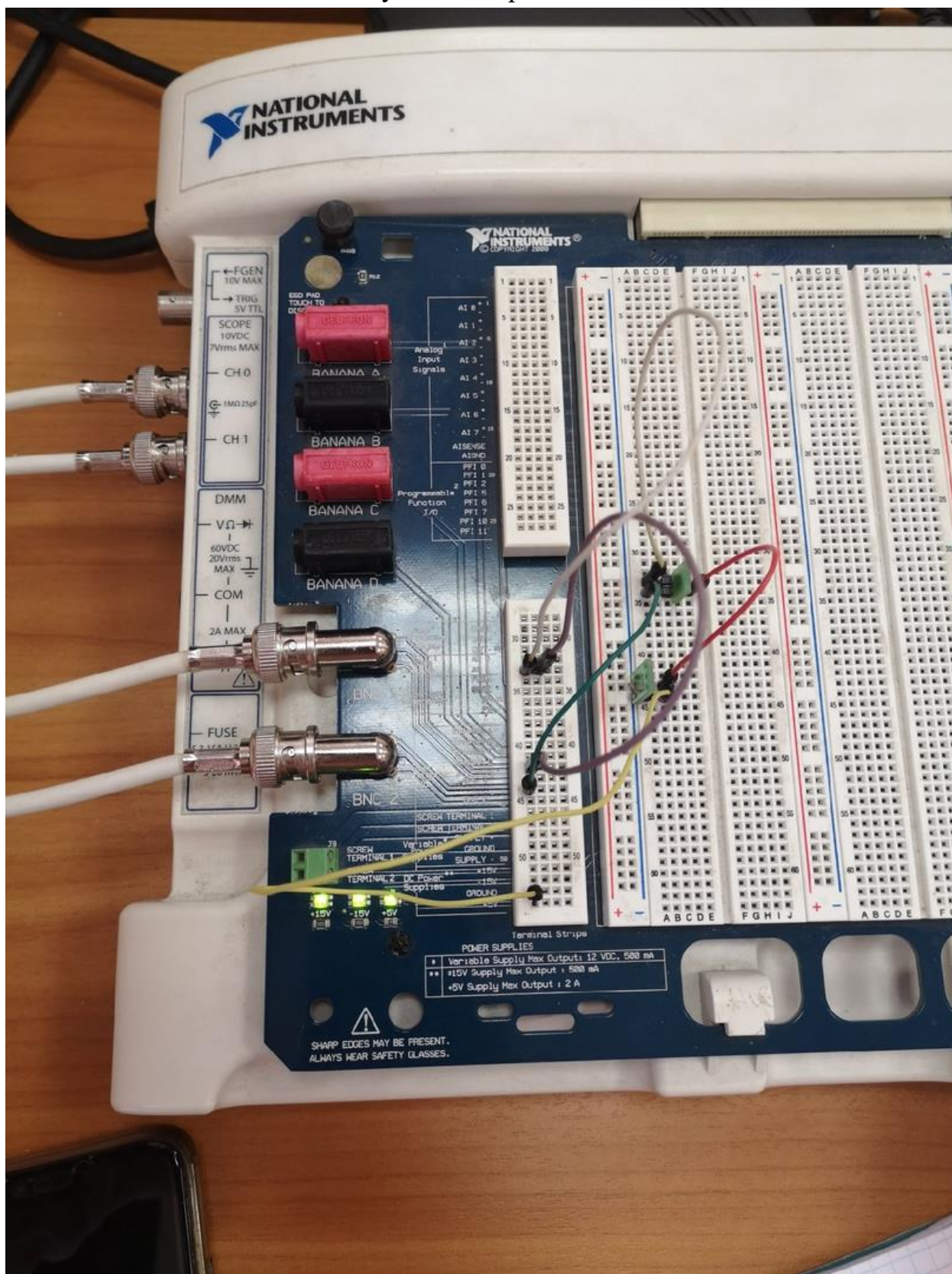


Рисунок 1. Схема интегрирующей RC-цепи (ФНЧ) с подключенными приборами

На плате схема выглядела следующим образом:



б) Подготовили приборы;

в) Предварительные наблюдения и поиск частоты среза цепи;

Наблюдали гармонические входной $U_{ВХ}(t)$ и выходной $U_{ВЫХ}(t)$ сигналы на частоте $f=100$ Гц. При установленной частоте входной и выходной сигналы почти совпадают.

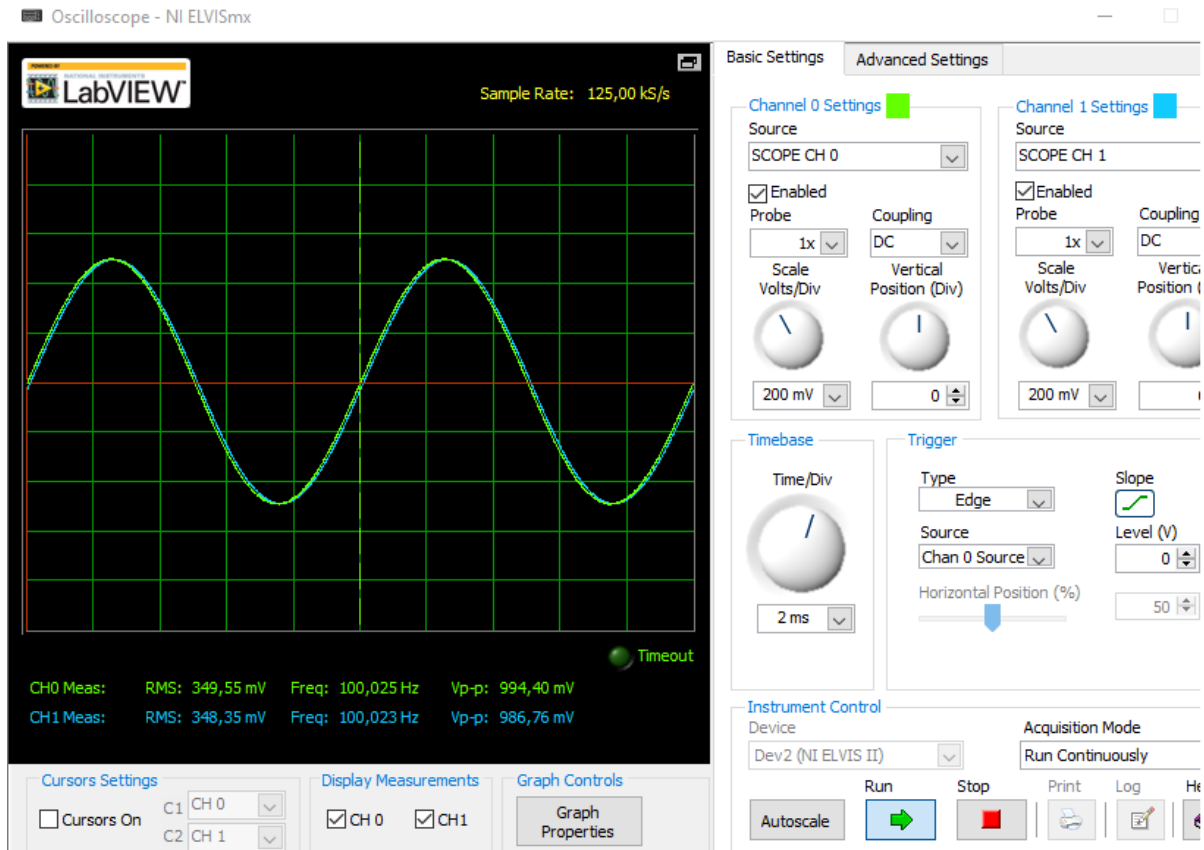


Рис. 1. Осциллограмма входного $U_{ВХ}(t)$ и выходного $U_{ВЫХ}(t)$ сигналов

Затем, изменяя частоту сигнала генератора и наблюдая по осциллографу входной и выходной сигнал, мы убедились, что при повышении частоты уровень выходного сигнала снижается, а разность фаз между входным и выходным сигналом растет (поскольку интегрирующая RC-цепи соответствует ФНЧ).

Далее мы выбрали частоту $f_0 = 1,722$ кГц, для которой коэффициент передачи фильтра близок к значению $K \approx \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$, и получили следующую осциллограмму входного и выходного сигнала:

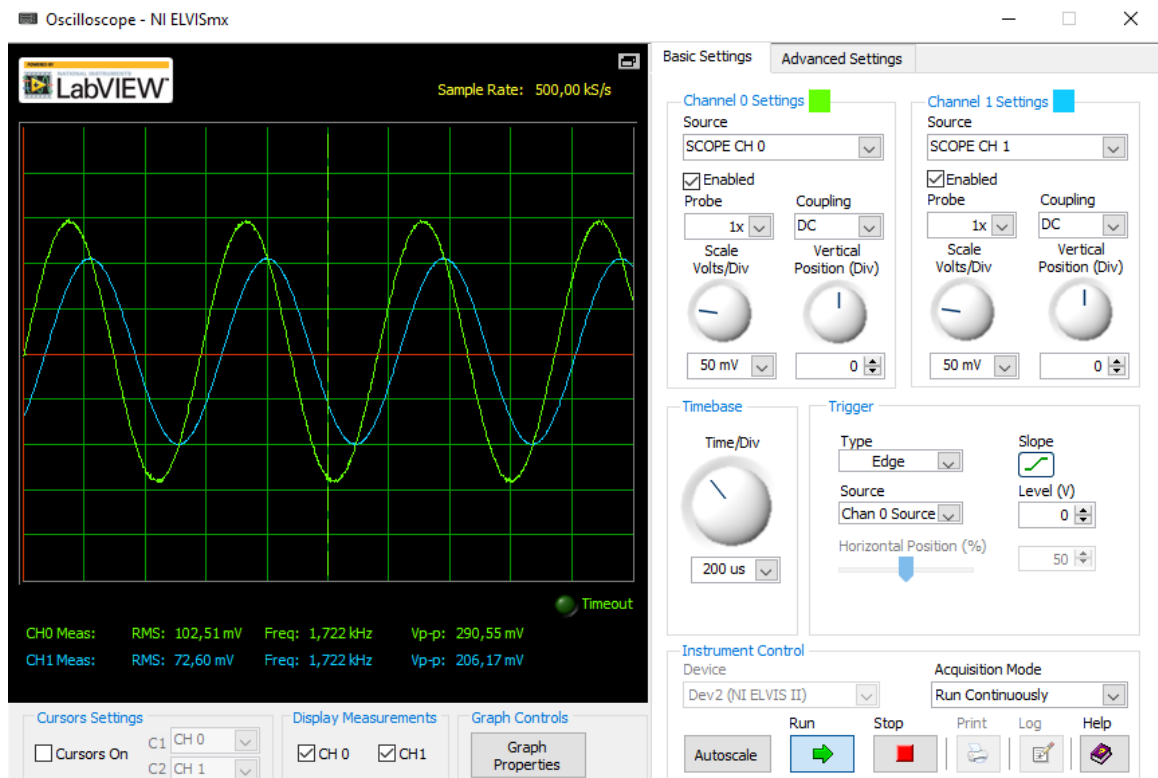


Рис. 2. Осциллограмма входного $U_{BX}(t)$ и выходного $U_{ВЫХ}(t)$ сигналов при $K=0,707$

Коэффициент передачи фильтра:

$$K \approx \frac{U_{ВЫХ}}{U_{BX}} = \frac{72,60 \text{ мВ}}{102,51 \text{ мВ}} \approx 0,708;$$

Кроме того, мы определили значение временной задержки между сигналами ΔT , наблюдаемые для этой частоты:

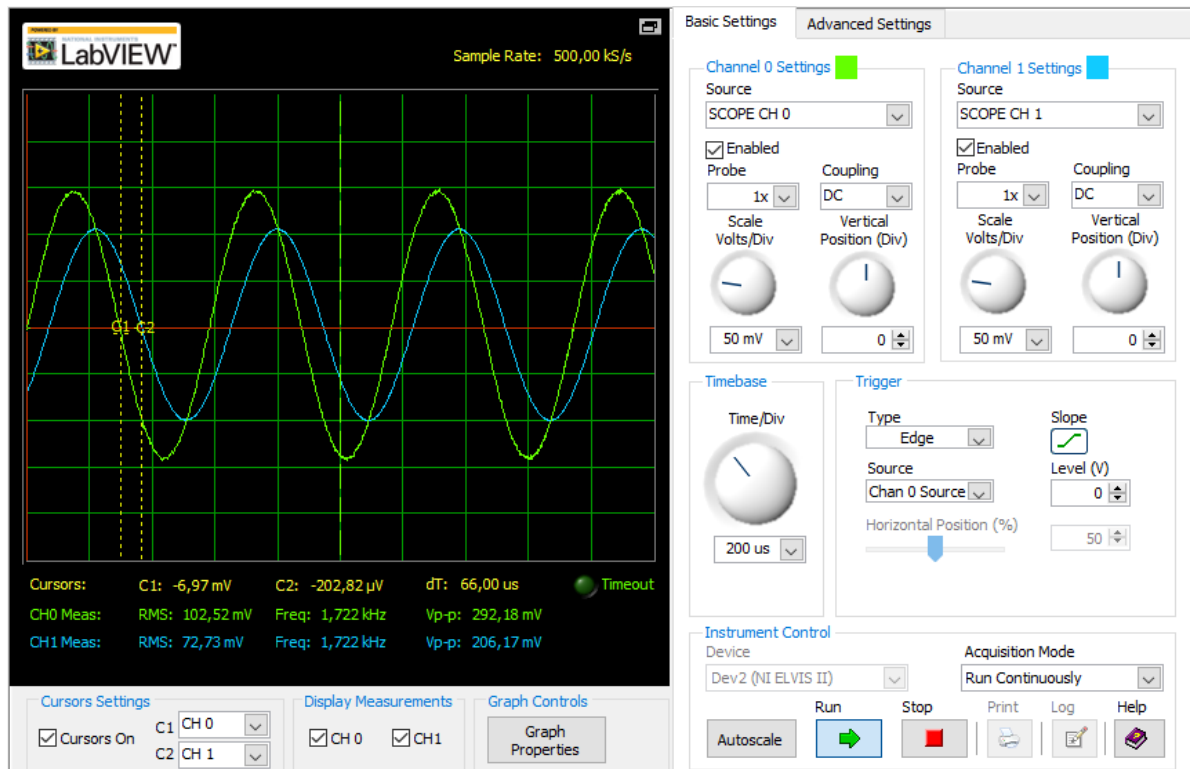


Рис.3. Осциллограмма входного $U_{ВХ}(t)$ и выходного $U_{ВЫХ}(t)$ сигналов для измерения задержки ΔT

$$\Delta T = 66 \text{ мкс};$$

д) На основе измеренных значений частоты f_0 и временной задержки ΔT , с помощью формул:

$$K(f) = \left(1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\varphi(f) = -2\pi \cdot \Delta T \cdot f$$

Были рассчитаны значения частоты среза f_c и фазового сдвига φ :

$$f_c = \frac{f}{\sqrt{\frac{1}{K^2} - 1}} = \frac{1,722 \text{ кГц}}{\sqrt{\frac{1}{0,707^2} - 1}} = 1721 \text{ Гц} = 1,721 \text{ кГц};$$

$$\varphi = -2\pi \cdot \Delta T \cdot f = -2\pi \cdot 66 \cdot 10^{-6} \text{ с} \cdot 1722 \text{ Гц} = -0,714;$$

ж) Сравнили значение частоты среза f_c , полученное при измерениях и значение, рассчитанное при выполнении пункта 1.1:

Значение, рассчитанное при выполнении пункта 1.1:

$$f_{c_{изм}} = 1,716 \text{ кГц};$$

Значение, полученное при измерениях:

$$f_c = 1,721 \text{ кГц};$$

Относительная погрешность составляет: 0,3%

Вывод: значение частоты среза f_c , полученное при измерениях и значение, рассчитанное при выполнении пункта 1.1 совпадают.

Значение сдвига фаз на частоте среза рассчитывается по формуле:

$$\varphi(f) = \arctg\left(-\frac{f}{f_c}\right)$$

$$\varphi = \arctg\left(-\frac{1,722 \text{ кГц}}{1,721 \text{ кГц}}\right) = -0,785;$$

Погрешность между значением сдвига фаз на частоте среза и теоретическим значением для RC-цепи составляет 9%.

Часть 2. Исследование воздействия импульсного напряжения на RC-цепь

2.1. Прохождение импульсного сигнала через RC-фильтр нижних частот (интегрирующая RC-цепь)

а) Предварительные наблюдения сигналов на входе и выходе;

Выбрали частоты f_1 , f_2 и f_3 , при которых сигналы выглядят, как на рисунке 3,а, 3,б и 3,в:

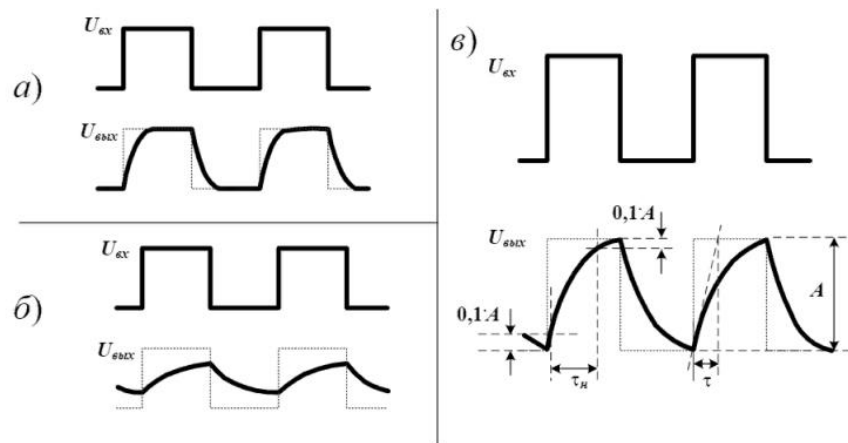


Рисунок 3. Вид импульсов на входе и выходе интегрирующей RC-цепи (ФНЧ) при $f \ll f_c$ (a), $f \sim f_c$ (b), $f \gg f_c$ (c).

$$f_1 = 843,565 \text{ Гц} \ll f_c$$

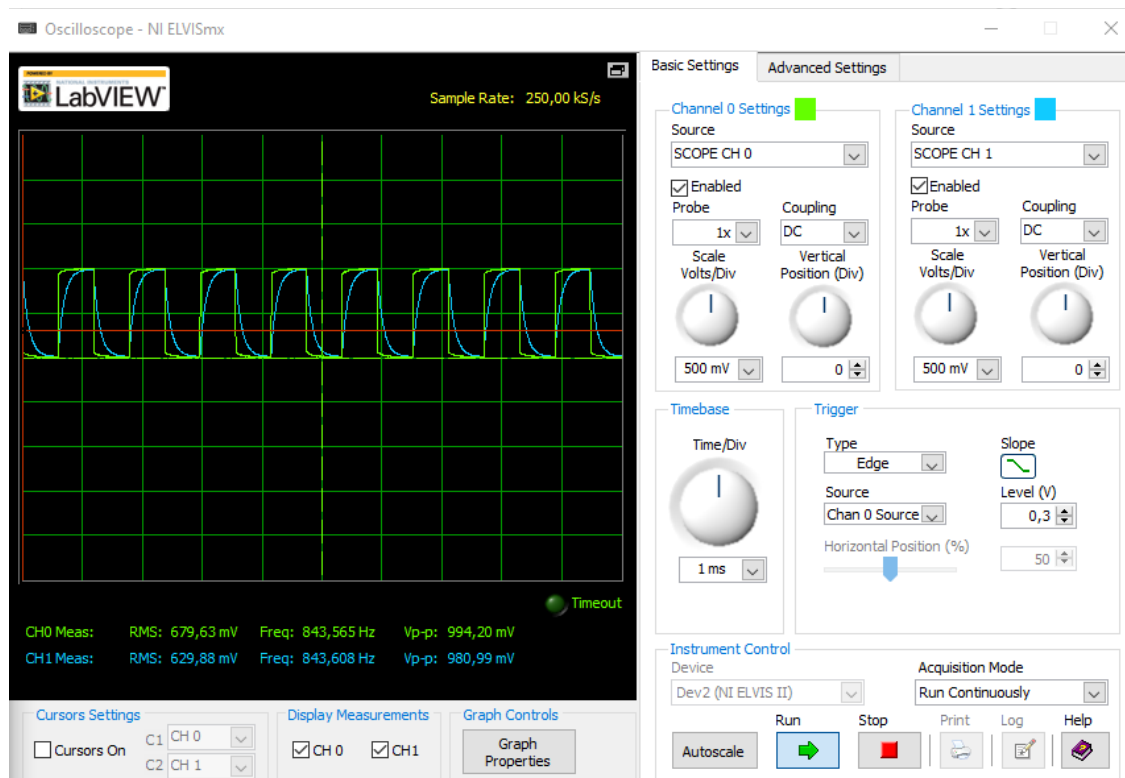


Рис. 4. Вид импульсов на входе и выходе интегрирующей цепи при $f \ll f_c$

$$f_2 = 1,707 \text{ кГц} \sim f_c$$

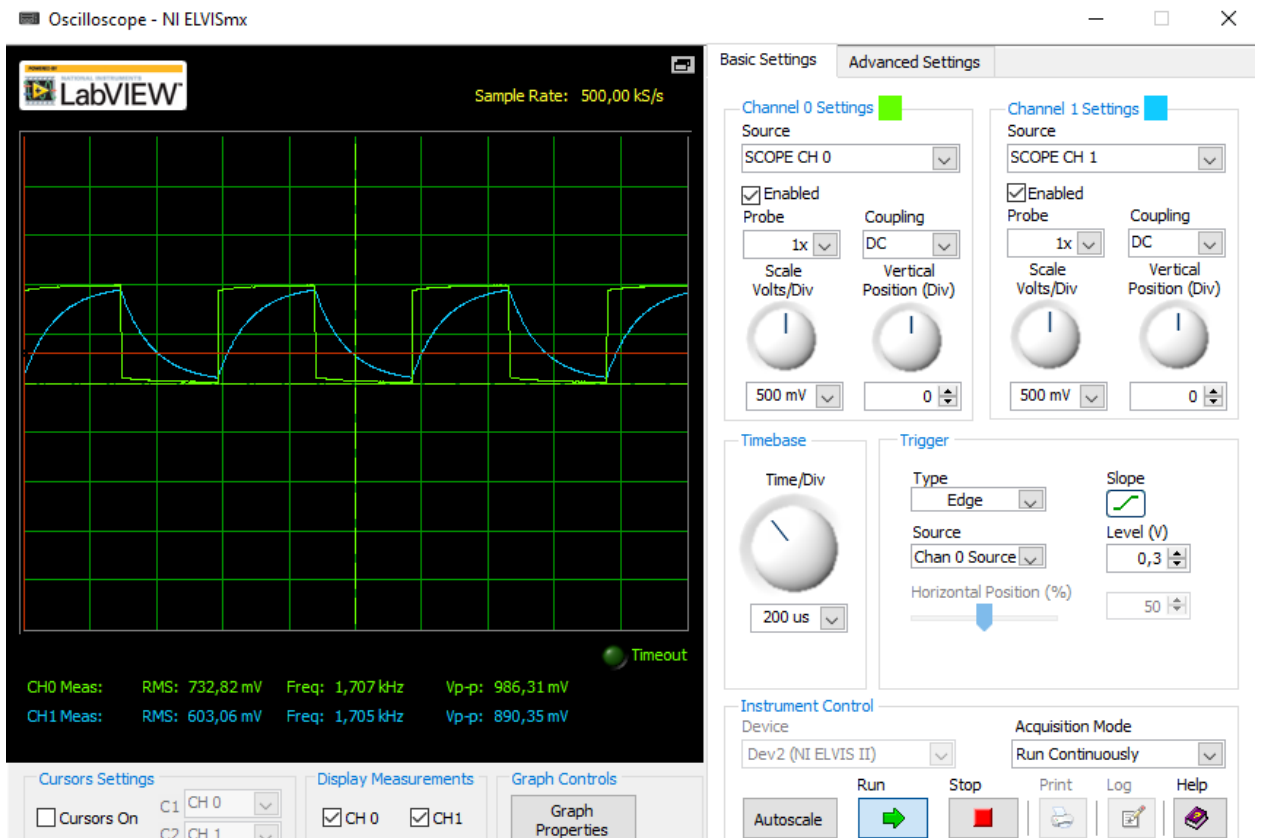


Рис. 5. Вид импульсов на входе и выходе интегрирующей цепи при $f \sim f_c$

$$f_3 = 5 \text{ кГц} \gg f_c$$

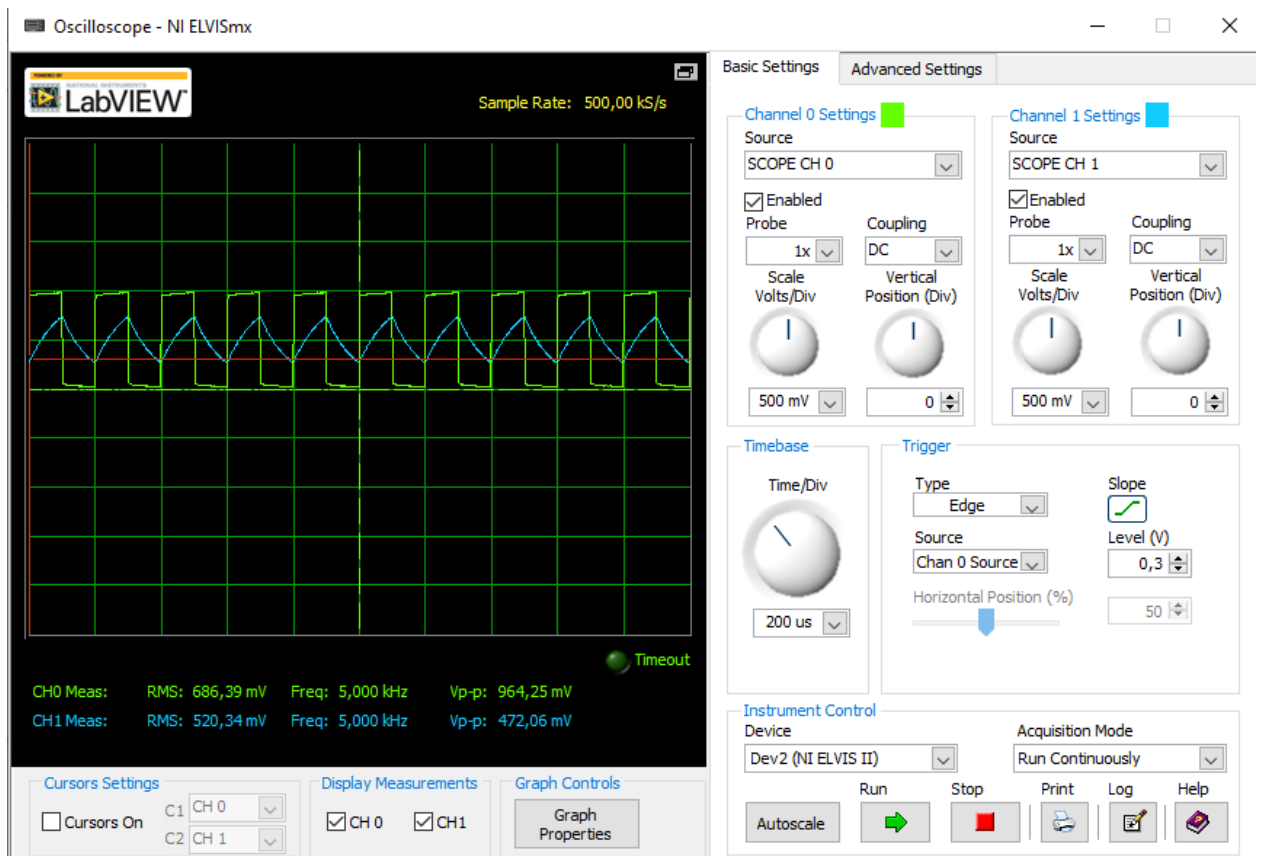


Рис. 6. Вид импульсов на входе и выходе интегрирующей цепи при $f \gg f_c$

2.2. Прохождение импульсного сигнала через RC-фильтр верхних частот (дифференцирующая RC-цепь)

а) Сборка схемы измерений;

Собрали на монтажной плате схему с дифференцирующей RC-цепочкой (ФВЧ), присоединенной к приборам как показано на рисунке 4:

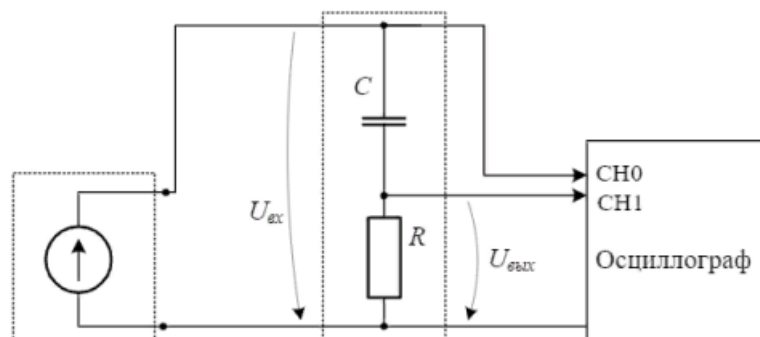


Рисунок 4. Схема дифференцирующей RC-цепи (ФВЧ) с подключенными приборами

б) Предварительные наблюдения сигналов на входе и выходе;

Выбрали частоты f_1 , f_2 и f_3 , при которых сигналы выглядят, как на рисунке 5,а, 5,б и 5,в соответственно:

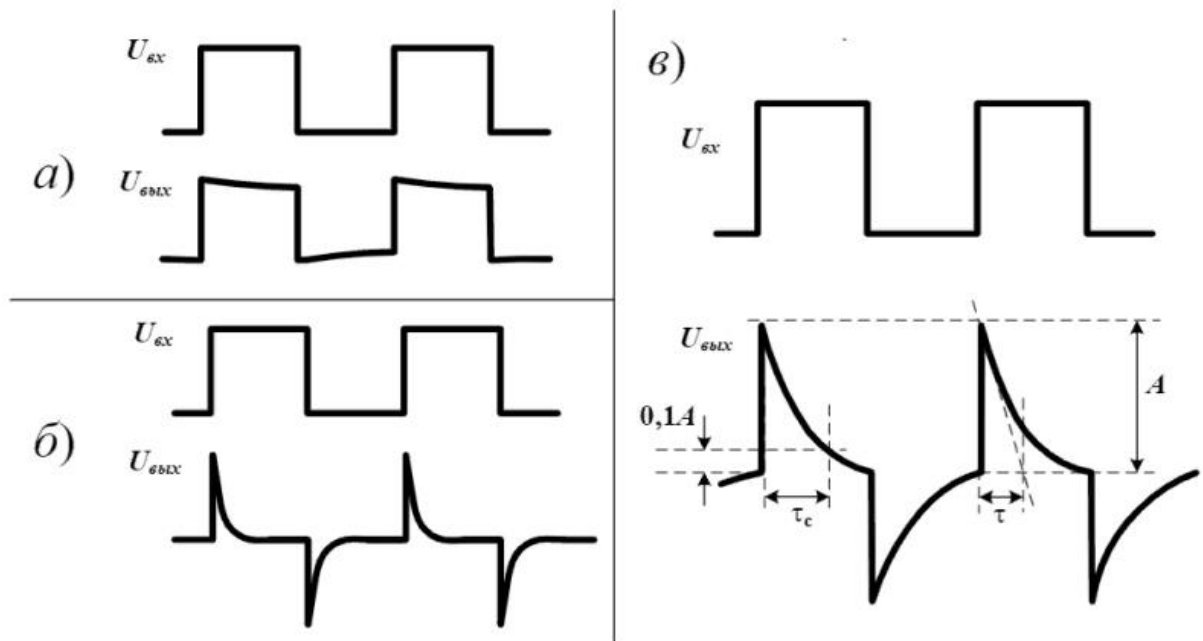


Рисунок 5. Вид импульсов на входе и выходе RC -фильтра верхних частот при разных соотношениях частоты следования импульсов и частоты среза фильтра.

$$f_1 = 13,628 \text{ кГц} \gg f_c$$

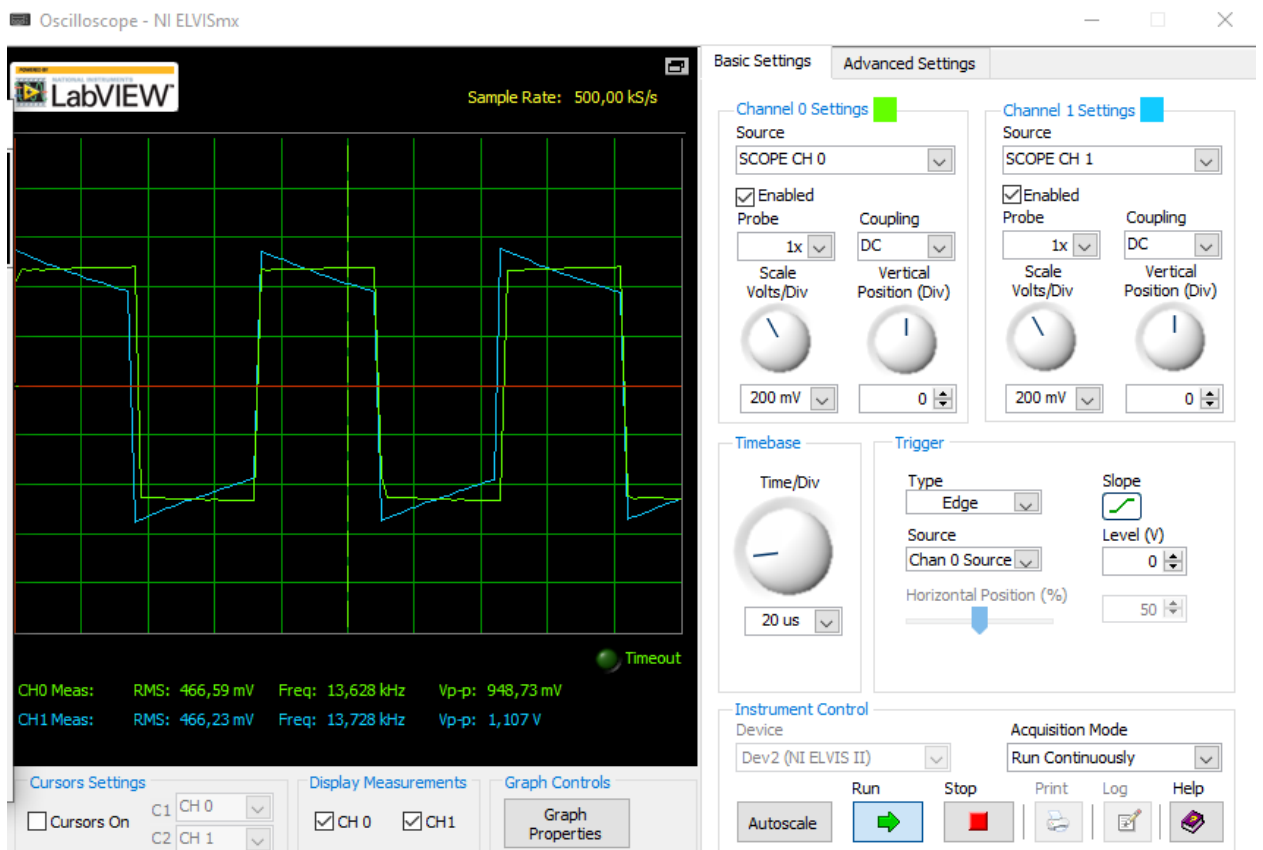


Рис.7. Вид импульсов на входе и выходе RC-фильтра при $f \gg f_c$

f_2 мы не можем определить, так как в процессе работы забыли сохранить скриншот с нашей осциллограммой (эта позаимствованна у одногруппников)

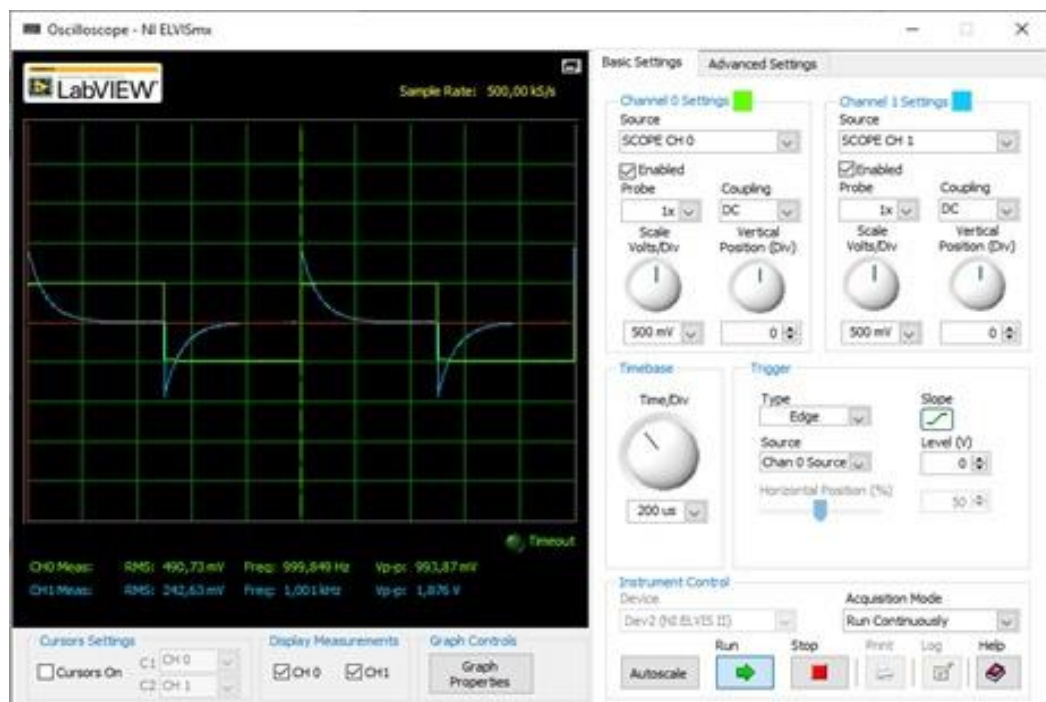


Рис.8. Вид импульсов на входе и выходе RC-фильтра при $f \sim f_c$

$$f_3 = 999,999 \text{ Гц} \ll f_c$$

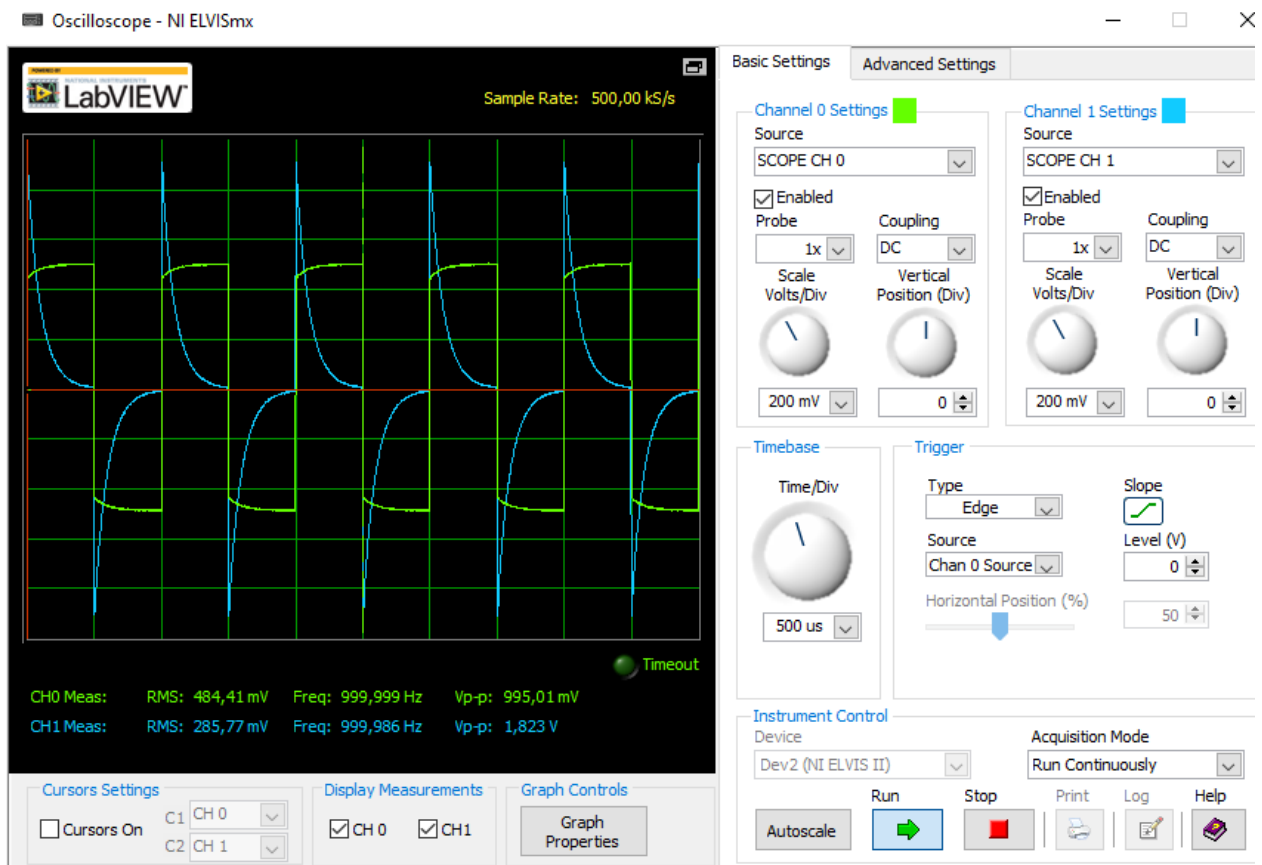


Рис.9. Вид импульсов на входе и выходе RC-фильтра при $f \ll f_c$

Здесь наклонная погрешность обусловлена внутренней емкостью и сопротивлением генератора.

Часть 3. Измерение АЧХ и ФЧХ RC-цепей с использованием «Bode»-анализатора

3.1. Включение и настройка «Bode»-анализатора

- а) Включение приборов.
- б) Настройка анализатора.

3.1. Измерение АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи (ФВЧ)

- а) Предварительное измерение АЧХ и ФЧХ.

АЧХ и ФЧХ RC-цепи:

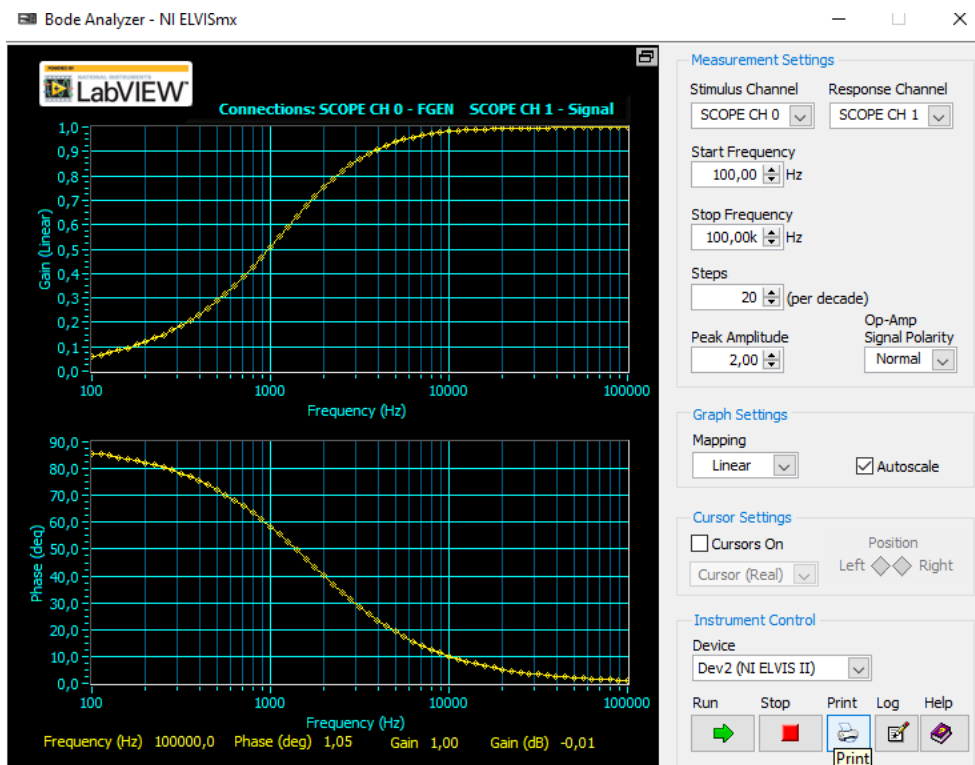


Рис. 10. АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи

С помощью курсора нашли частоту, на которой K наиболее близко к значению 0,707:

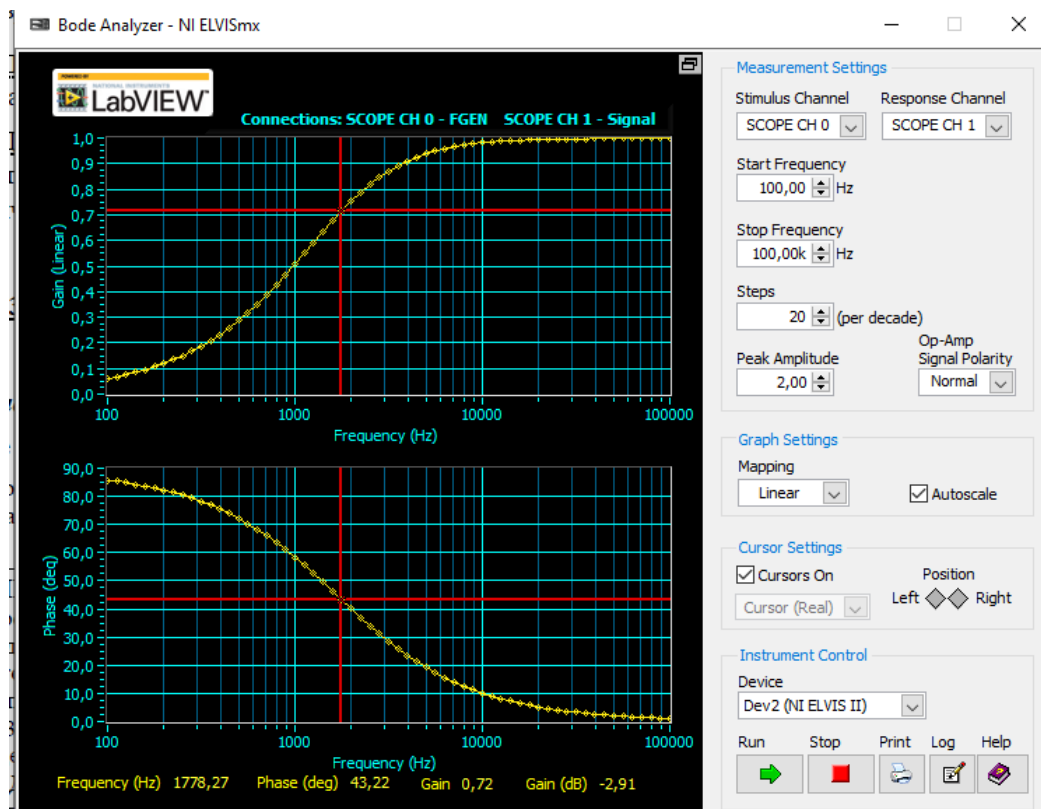


Рис. 11. АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи при $K=0,707$

$$f = 1778,27 \text{ Гц};$$

б) Подробное измерение области среза.

Изменили диапазон измерения анализатора до одной декады так, чтобы значения частоты среза $f = 1778,27$ Гц примерно в середине этой декады и установили шаг изменения частоты 100 точек на декаду. Запустив анализатор, провели измерения АЧХ и ФЧХ. С помощью курсора нашли частоту среза f_c , на которой значение К наиболее близко к уровню 0,707:

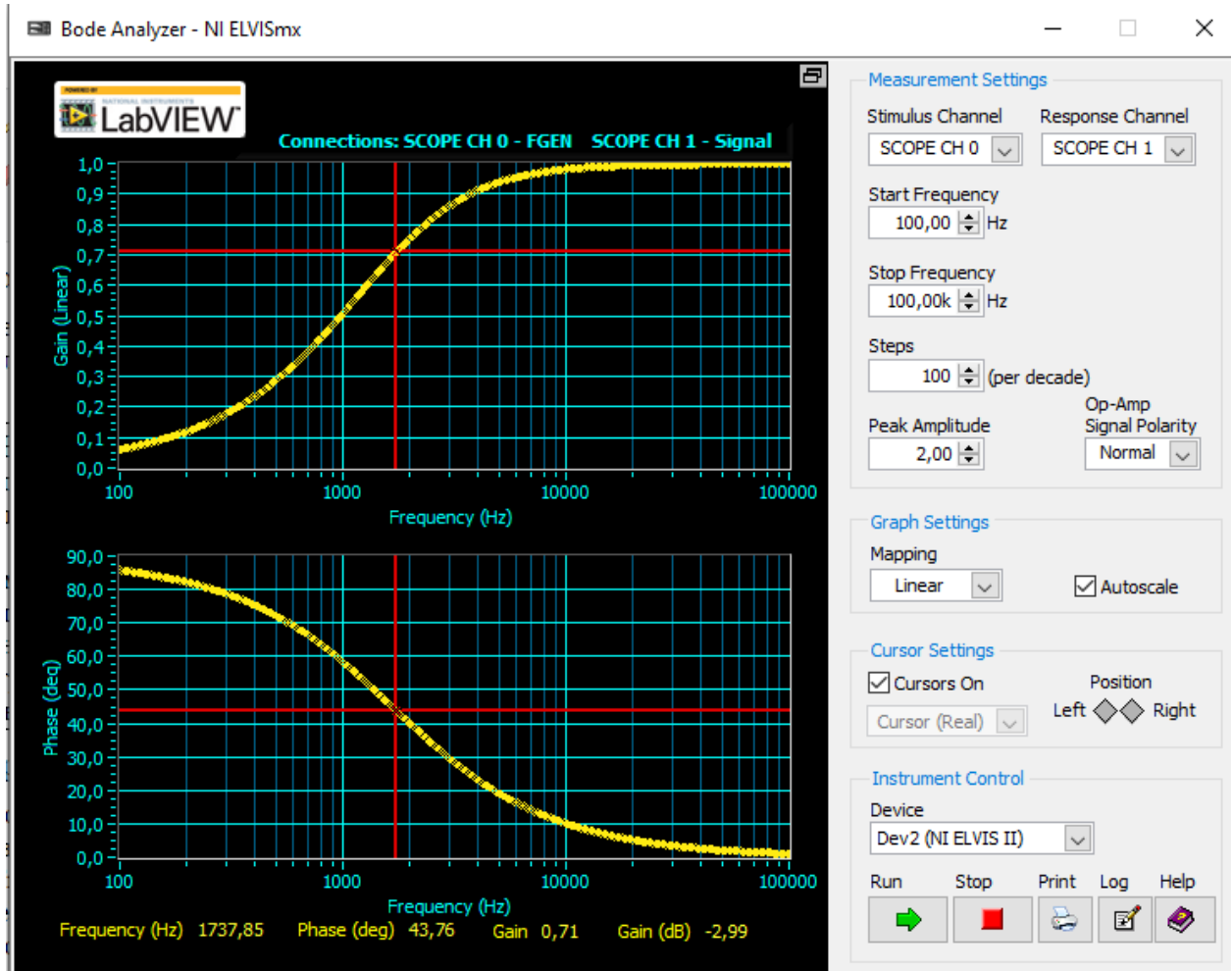


Рис. 12. АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи при $K=0,707$ в области среза

$$f_c = 1737,85 \text{ Гц};$$

$$\varphi = 43,76 \text{ deg};$$

$$K = 0,71;$$

3.2. Измерение АЧХ и ФЧХ RC-ФВЧ (интегрирующая RC-цепь)

а) Сборка схемы для измерений.

Собрали на монтажной плате схему с интегрирующей RC-цепью (ФНЧ), показанную на рис.1:

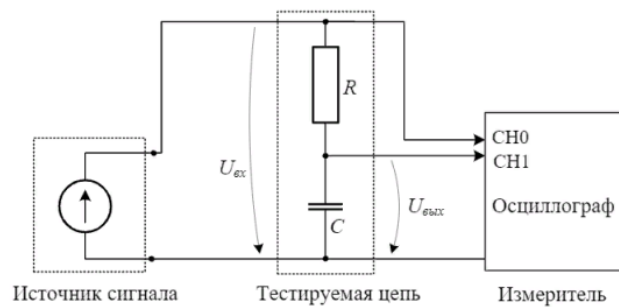


Рисунок 1. Схема интегрирующей RC-цепи (ФНЧ) с подключенными приборами

б) Измерения АЧХ и ФЧХ цепи.

С помощью курсора нашли частоту, на которой K наиболее близко к значению 0,707:

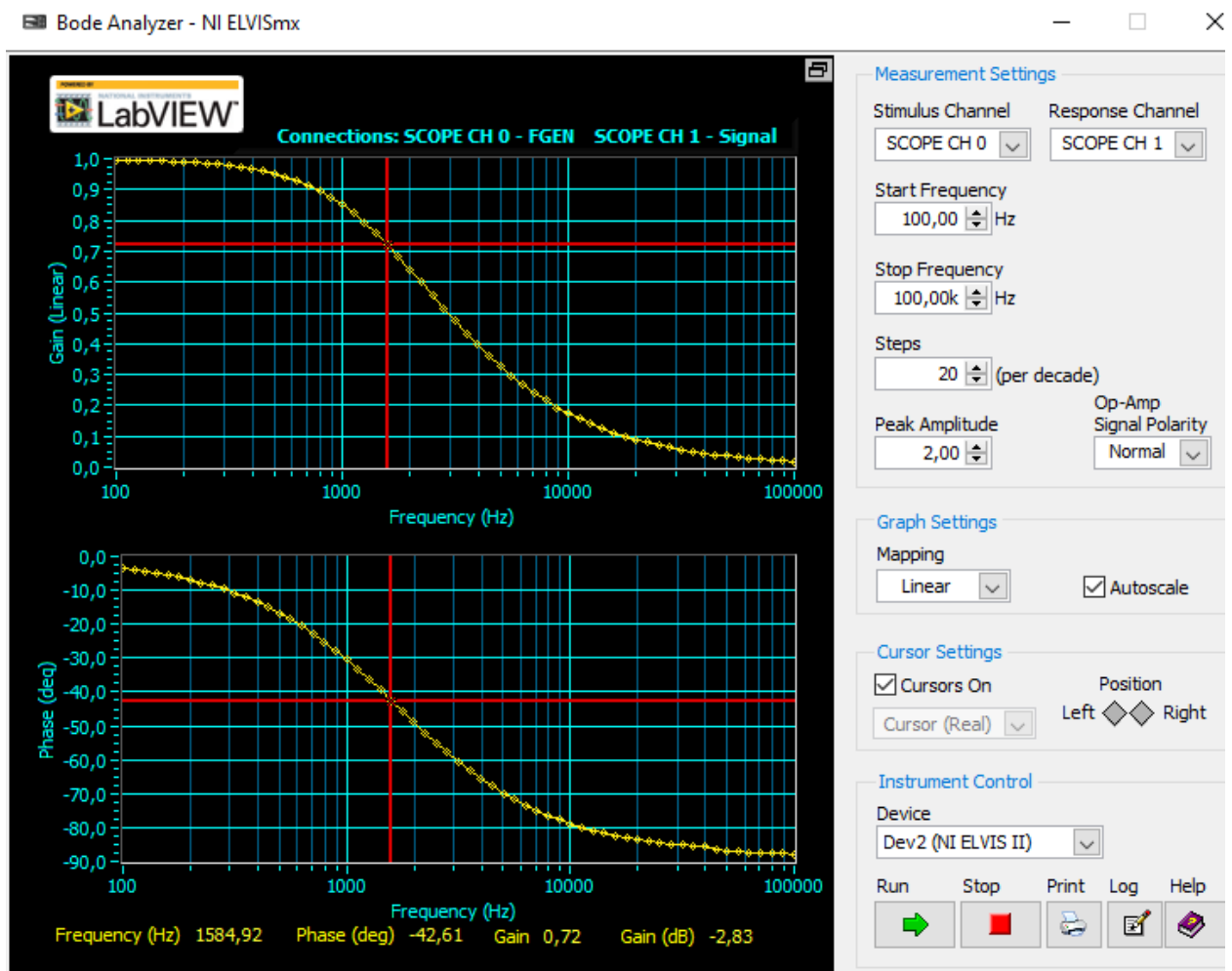


Рис. 13. АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи при $K=0,707$

$$f = 1584,92 \text{ Гц};$$

Подробное измерение области среза:

Изменили диапазон измерения анализатора до одной декады так, чтобы значения частоты среза $f = 1584,92$ Гц примерно в середине этой декады и установили шаг изменения частоты 100 точек на декаду. Запустив анализатор, провели измерения АЧХ и ФЧХ. С помощью курсора нашли частоту среза f_c , на которой значение К наиболее близко к уровню 0,707:

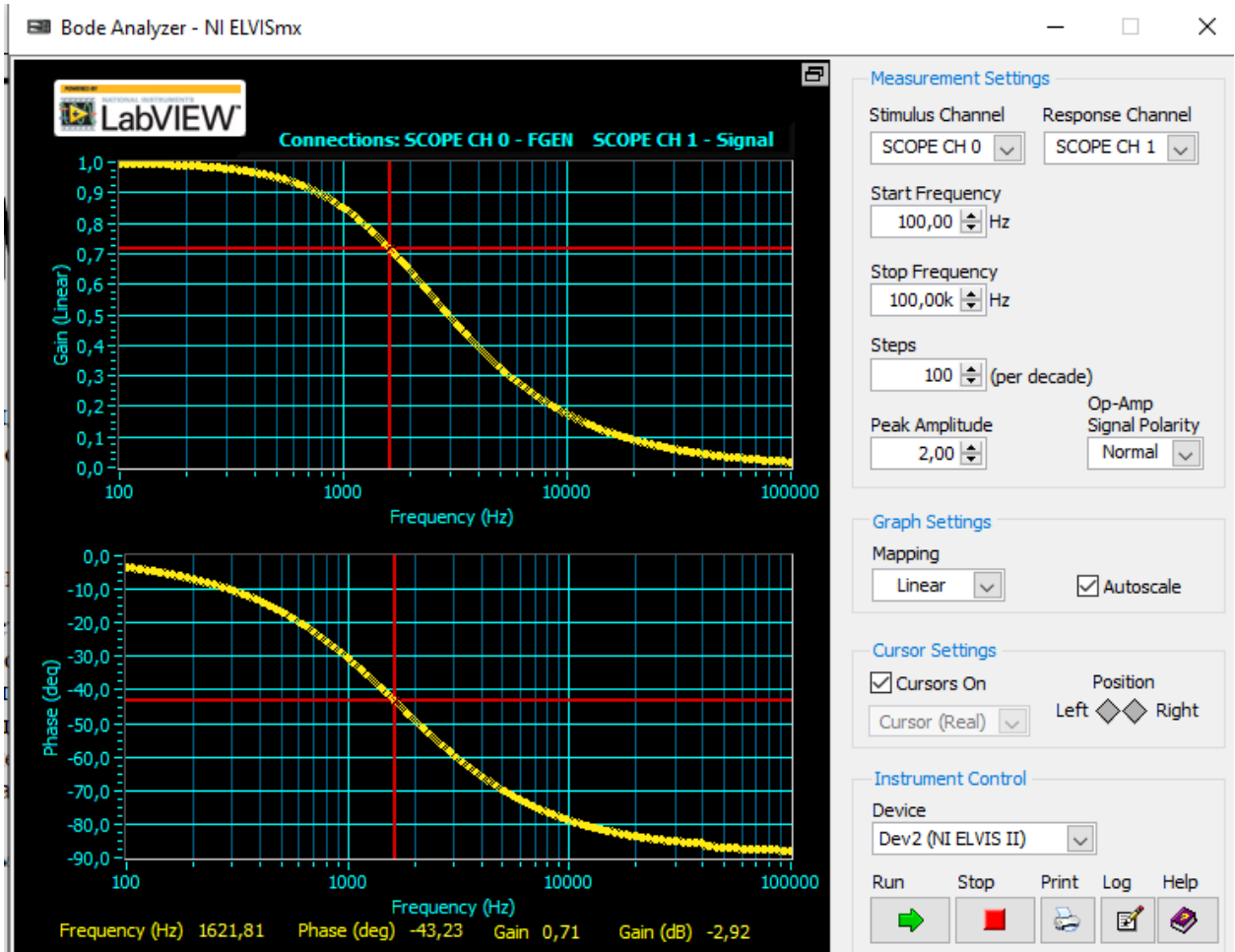


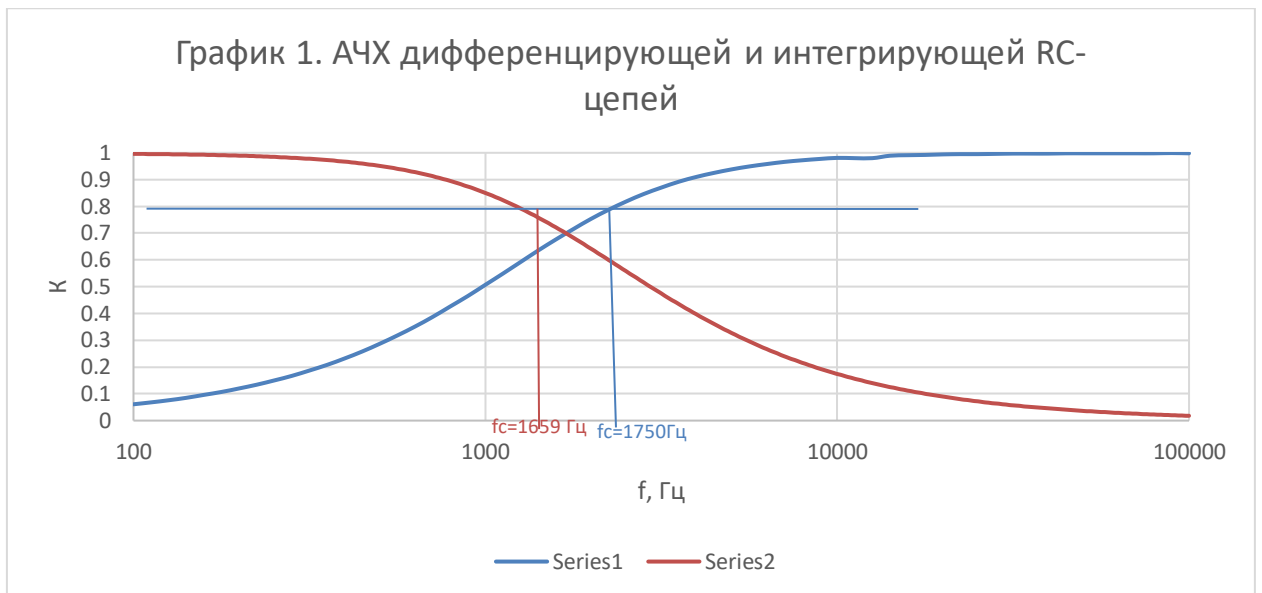
Рис. 14. АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи при $K=0,707$ в области среза

$$f_c = 1621,81 \text{ Гц};$$

$$\varphi = -43,23 \text{ deg};$$

$$K = 0,71;$$

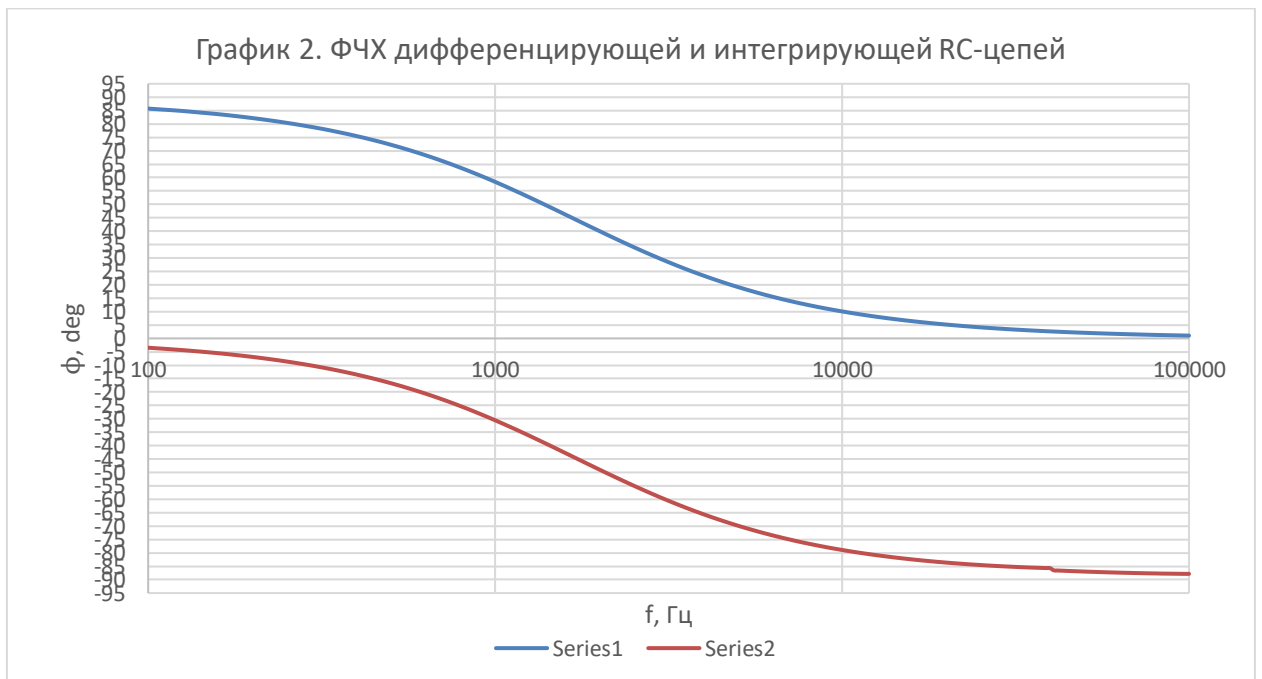
в) Используя сохраненные данные, построили в полулогарифмическом масштабе графики, содержащие измеренные точки АЧХ цепей:



АЧХ дифференцирующей RC-цепи описывается выражением: $K(j\omega) \approx j \cdot \omega \cdot \tau$

АЧХ интегрирующей RC-цепи описывается выражением: $K(j\omega) \approx \frac{1}{\omega \cdot \tau}$

и ФЧХ цепей:



Сдвиг фазы дифференцирующей и интегрирующей RC-цепей составляет π -они противофазны.

Полученные графики совпадают с теоретическими зависимостями.

Часть 4. Исследование частотных свойств колебательного контура

4.1. Измерение параметров катушки индуктивности и оценка параметров LC-контура

а) Записали в протокол номинальное значение индуктивности:

$$L_{\text{НОМ}} = 220 \text{ мкГн} = 220 \cdot 10^{-6} \text{ Гн};$$

б) Измерение индуктивности.

С помощью мультиметра измерили фактические значения сопротивления r и индуктивности L катушки:

$$r = 8,8 \text{ Ом};$$

$$L_{\text{ИЗМ}} = 223,6 \text{ мкГн} = 223,6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн};$$

в) Оценка параметров LC-контуров.

Рассчитали резонансную частоту по формуле:

$$f_p = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Для номинальных значений:

$$f_{p_{\text{НОМ}}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_{\text{НОМ}} \cdot C_{\text{НОМ}}}}$$

$$f_{p_{\text{НОМ}}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{220 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot 10^{-7} \text{ Ф}}} = 33931,95 \text{ Гц} = 33,932 \text{ кГц};$$

Для измеренных значений:

$$f_{p_{\text{ИЗМ}}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_{\text{ИЗМ}} \cdot C_{\text{ИЗМ}}}}$$

$$f_{p_{\text{ИЗМ}}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{223,6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot 93,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}}} = 34770,78 \text{ Гц} = 34,771 \text{ кГц};$$

Рассчитали эквивалентное сопротивление по формуле:

$$R_{\text{Э}} = \frac{L}{r \cdot C}$$

Для номинальных значений:

$$R_{\text{ЭНОМ}} = \frac{L_{\text{НОМ}}}{r \cdot C_{\text{НОМ}}}$$

$$R_{\text{ЭНОМ}} = \frac{220 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}}{8,8 \text{ Ом} \cdot 10^{-7} \text{ Ф}} = 250 \text{ Ом};$$

Для измеренных значений:

$$R_{\text{ЭИЗМ}} = \frac{L_{\text{ИЗМ}}}{r \cdot C_{\text{ИЗМ}}}$$

$$R_{\text{ЭИЗМ}} = \frac{223,6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}}{8,8 \text{ Ом} \cdot 93,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}} = 271 \text{ Ом};$$

Рассчитали собственную добротность LC-контура Q по формуле:

$$Q = \frac{\sqrt{L \cdot C}}{r}$$

Для номинальных значений:

$$Q_{\text{НОМ}} = \frac{\sqrt{\frac{L_{\text{НОМ}}}{C_{\text{НОМ}}}}}{r}$$

$$Q_{\text{НОМ}} = \frac{\sqrt{\frac{220 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}}{10^{-7} \text{ Ф}}}}{8,8 \text{ Ом}} = 5,33;$$

Для измеренных значений:

$$Q_{\text{ИЗМ}} = \frac{\sqrt{\frac{L_{\text{ИЗМ}}}{C_{\text{ИЗМ}}}}}{r}$$

$$Q_{\text{ИЗМ}} = \frac{\sqrt{\frac{223,6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}}{93,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}}}}{8,8 \text{ Ом}} = 5,55;$$

г) Сравнили измеренное значение индуктивности дросселя с номинальным:

$$L_{\text{ИЗМ}} = 223,6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cong L_{\text{НОМ}} = 220 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}; (\text{погрешность составляет } 1,6\%)$$

Вывод: Измеренное значение $L_{\text{изм}}$ совпадают с номинальным $L_{\text{ном}}$ в пределах погрешности.

Сравнили рассчитанное значение f_p с оценкой, которую можно было сделать по номинальным значениям индуктивности и емкости:

$$f_{p_{\text{изм}}} = 34,771 \text{ кГц} \geq f_{p_{\text{ном}}} = 33,932 \text{ кГц}; (\text{погрешность составляет } 2\%)$$

Вывод: Измеренное значение $f_{p_{\text{изм}}}$ совпадают с номинальным $f_{p_{\text{ном}}}$ в пределах погрешности.

4.3. Измерение АЧХ и ФЧХ последовательного LC-контура

а) Сборка схемы для измерений.

Собрали на монтажной плате схему, согласно рис.8:

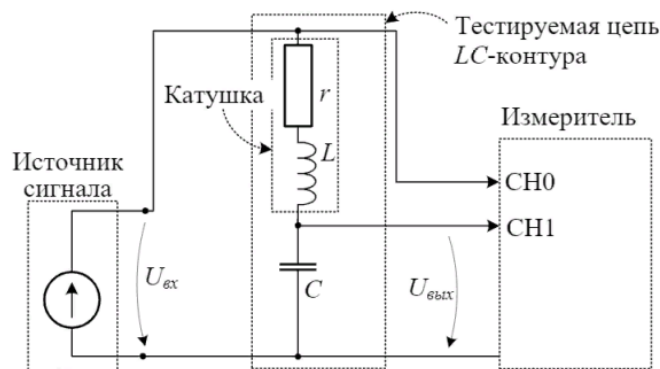


Рисунок 8. Схема узкополосного фильтра основе последовательного LC-контура с подключенными приборами

б) Измерение АЧХ и ФЧХ последовательного LC-контура.

С помощью курсора нашли точные значения резонансной частоты f_p и $K_p = K_p(f_p)$ и $\varphi_p = \varphi(f_p)$:

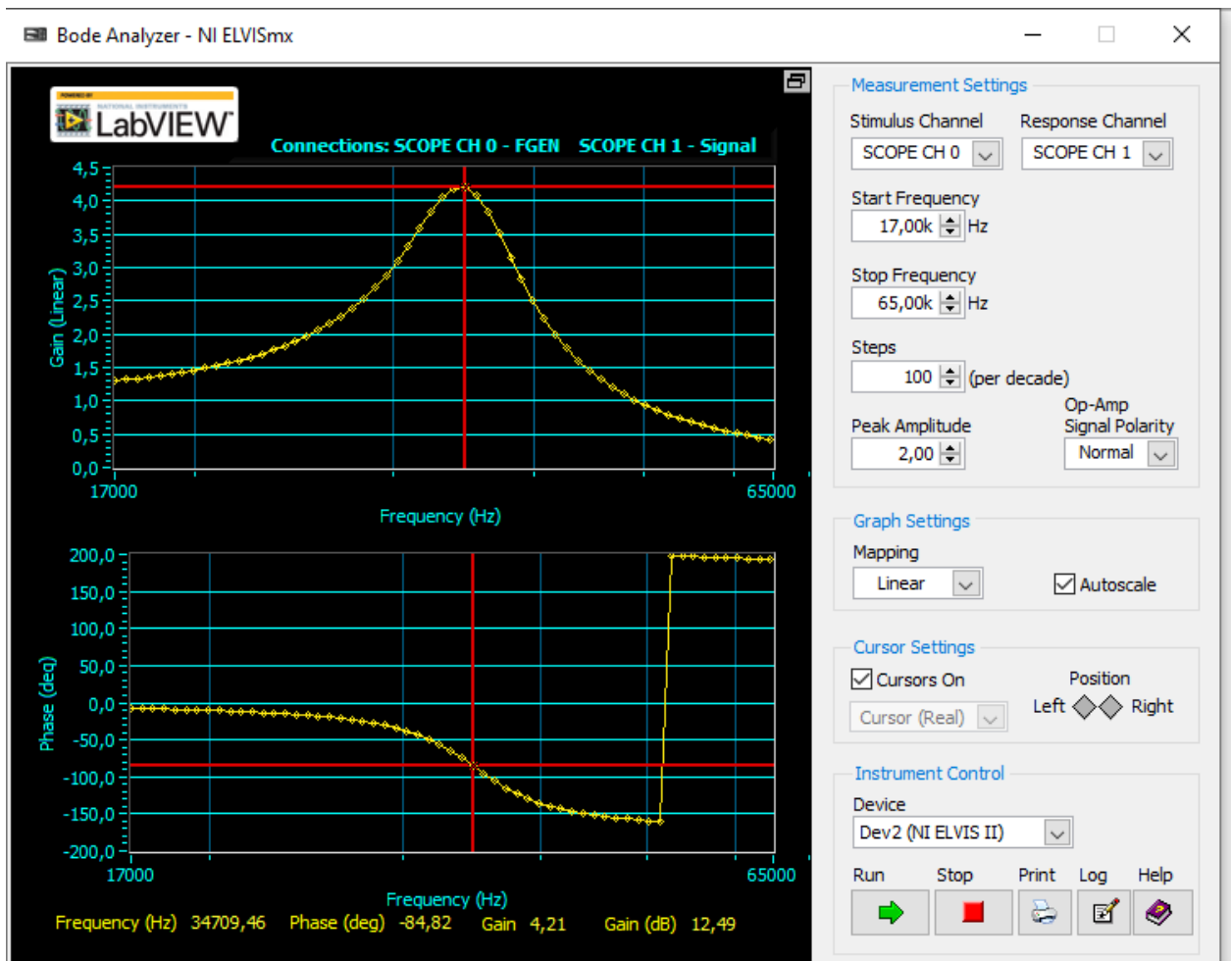


Рис. 15. АЧХ и ФЧХ последовательного контура при резонансной частоте

$$f_p = 34709 \text{ Гц};$$

$$K_p = 4,21;$$

$$\varphi_p = -84,82 \text{ deg};$$

Также нашли значения нижней и верхней граничных частот резонансной кривой f_H и f_B , по уровню спада АЧХ 3дБ, т.е. для которых $K(f_H) = K(f_B) = 0,707 \cdot K_p$:

Для нижней частоты f_H :

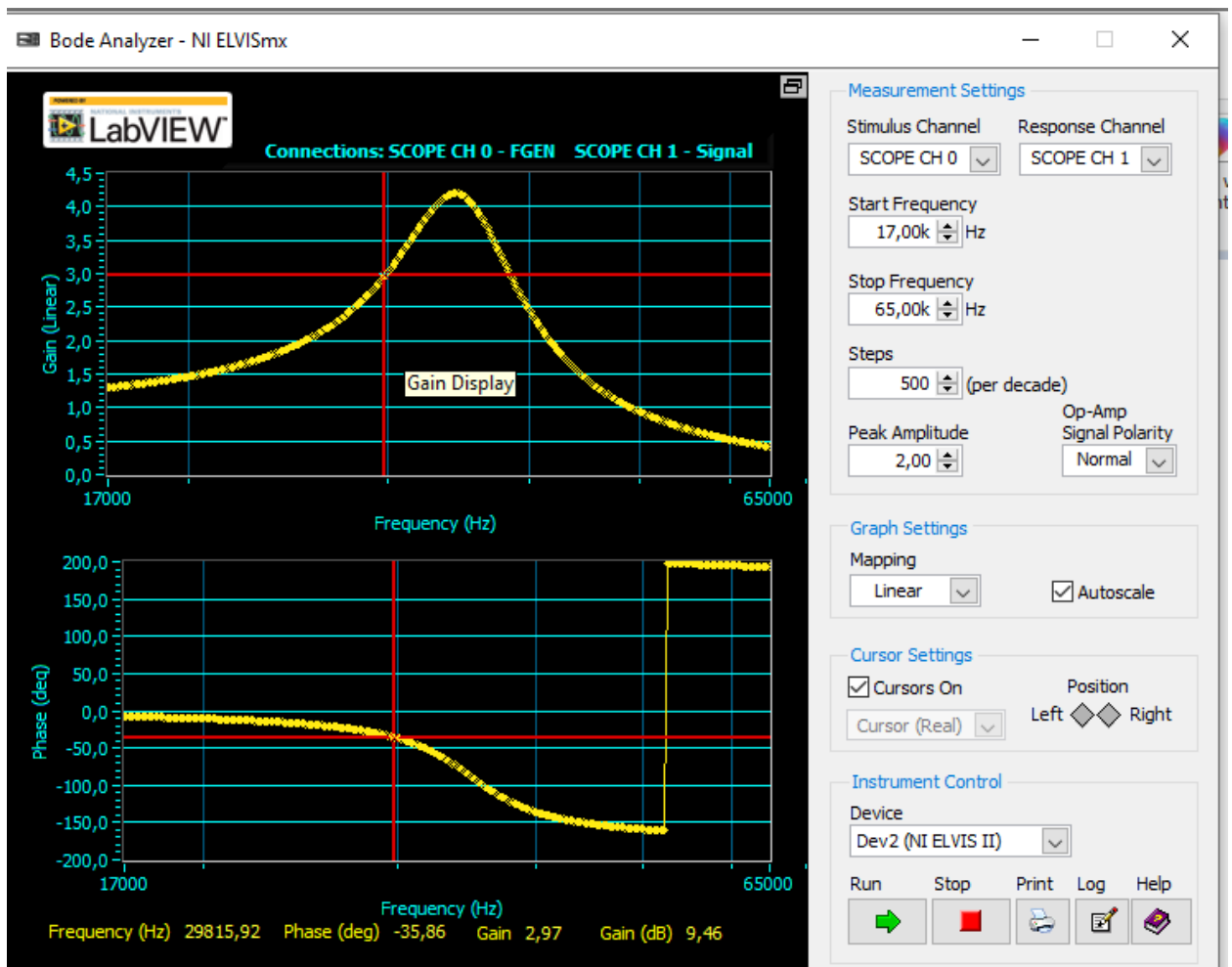


Рис. 16. АЧХ и ФЧХ последовательного контура при нижней частоте

$$f_n = 29815,92 \text{ Гц};$$

Для верхней частоты f_b :

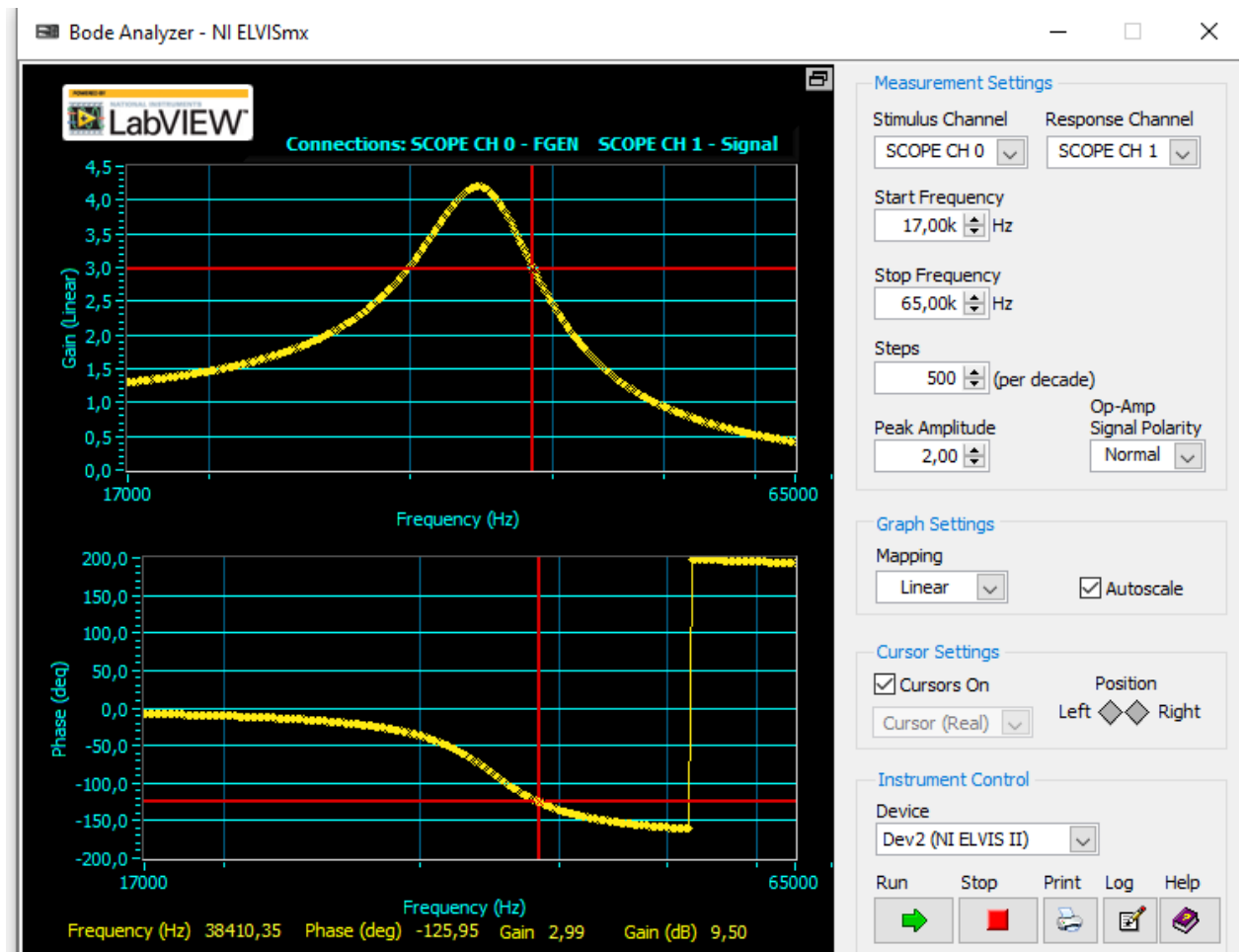


Рис. 17. АЧХ и ФЧХ последовательного контура верхней частоте

$$f_B = 38410,35 \text{ Гц};$$

в) Сравнили значение измеренной резонансной частоты, рассчитанной и измеренной при выполнении п.4.1.:

$$f_p = 34,709 \text{ кГц};$$

$$f_{p_{\text{изм}}} = 34,771 \text{ кГц};$$

$$f_{p_{\text{ном}}} = 33,932 \text{ кГц};$$

Вывод: f_p отличается от $f_{p_{\text{изм}}}$ на 0,1%, а от $f_{p_{\text{ном}}}$ на 2,2%.

г) Рассчитали на основе измеренных параметров резонансной АЧХ значение полосы пропускания Δf :

$$\Delta f = f_B - f_H = 38410,35 \text{ Гц} - 29815,92 \text{ Гц} = 8594,43 \text{ Гц} = 8,594 \text{ кГц};$$

Рассчитали на основе измеренных параметров резонансной АЧХ значение добротности контура Q' :

$$Q' = \frac{f_p}{\Delta f} = \frac{34,709 \text{ кГц}}{8,594 \text{ кГц}} \approx 4,04;$$

Сравнили рассчитанное значение добротности с теоретическим:

Рассчитанное значение: $Q' = 4,04$;

Теоретическое значение: $Q_{\text{ном}} = 5,33$; $Q_{\text{изм}} = 5,55$;

Разница между Q' и $Q_{\text{ном}}$, $Q_{\text{изм}}$ составляет 24% и 27% соответственно.

Соотношение $Q' = Q$ для цепи с последовательного LC-контура не выполняется, поскольку есть небольшое различие в значениях f_p , а также потери в катушке и конденсаторе(сопротивление потерь в контуре).

д) Сравнили измеренное фактическое значение K_p с результатами теоретического соотношения для рассматриваемой цепи:

$K_p = 4,21$ - измеренное фактическое значение;

$$K_p = Q_{\text{ном}} = 5,33$$

$K_p = Q_{\text{изм}} = 5,55$ - теоретические значения;

Разница между этими значениями составляет 21% и 24% соответственно.

Для пассивной электрической цепи в области частоты f_p значение коэффициента передачи K_p оказывается существенно больше единицы, потому что частоте резонанса f_p реактивная составляющая входного сопротивления равна нулю ($X_L = X_C$) и в результате **последовательный контур** при резонансе имеет минимальное сопротивление, равное активному сопротивлению контура, и э. д. с, приложенная к контуру, преодолевает только его, а ток в контуре максимален. Коэффициент передачи определяется как $K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = Q$ (резонанс напряжений). По максимуму тока можно обнаружить режим резонанса. В режиме резонанса напряжения на отдельных элементах контура составляют:

$$U_R = R \cdot I_0$$

$$U_L = X_L \cdot I_0$$

$$U_C = X_C \cdot I_0$$

Из последнего равенства следует, что $U_L = U_C$ и входное напряжение контура становится равным напряжению на резистивном элементе:

$$\dot{U} = U_R + j \cdot (U_L - U_C) = U_R$$

При этом индуктивное и ёмкостное сопротивления могут быть больше активного $X = X_C = X_L$; $X > R$. Тогда напряжения на реактивных элементах будут больше входного напряжения. Коэффициент усиления напряжения равен добротности контура

$$Q = \frac{U_L}{U_R} = \frac{U_C}{U_R} = \frac{X_L \cdot I_0}{R \cdot I_0} = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} = \frac{\omega_0 \cdot L}{R} = \frac{\rho}{R},$$

где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - характеристическое сопротивление.

е) Данный пункт мы не выполнили, так как забыли сохранить файл с необходимыми измерениями.

Вывод: в ходе работы нами были рассмотрены и исследованы пассивные электрические цепи, а именно RC-цепь в режиме гармонических колебаний, исследование воздействия импульсного напряжения на RC-цепь, исследование частотных свойств колебательного контура. Кроме того, были измерены с помощью «Vode»-анализатора и проанализированы АЧХ и ФЧХ RC-цепей, измерены значения параметров элементов RC-цепи, а также были сравнены с номинальными значениями параметров этих элементов. Работа была выполнена не полностью в результате того, что мы выполняли её в течение 2 занятий, а согласно введению на каждую часть данной работы должно выделяться одно занятие.

