



Кафедра радиотехники

---

## Пассивные электрические цепи

---

**Выполнил:** Корепанов Г.М.  
512 группа

**Преподаватель:** Филатов Иван Васильевич

Долгопрудный, 2016 г.

# Интегрирующие и дифференцирующие звенья

## Интегрирующая цепочка

АЧХ

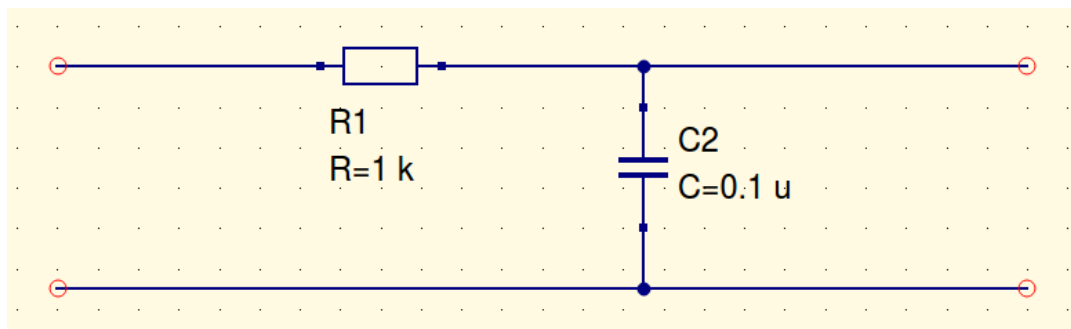


Рис. 1: Интегрирующая цепочка с экспериментальными параметрами

Для данной цепочки получаем постоянную времени  $\tau = RC \simeq 0,1$  мс.

$f/f_0$	0.25	0.5	1	2	4	8	16
$K(f)$	0.95	0.89	0.75	0.53	0.31	0.17	0.09

Таблица 1: Зависимость коэффициента передачи от частоты, опорная частота  $f_0 = 1600$  Гц

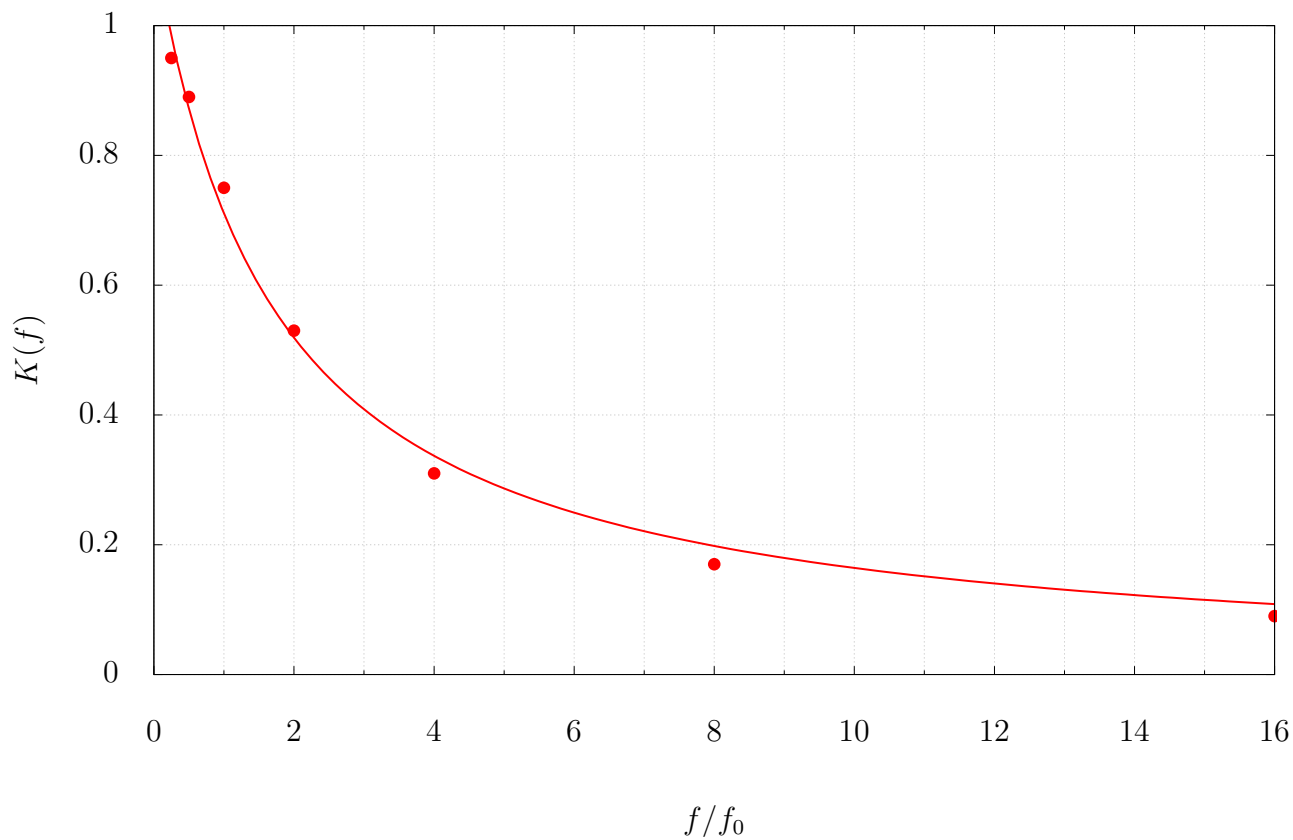


Рис. 2: Амплитудно-частотная характеристика

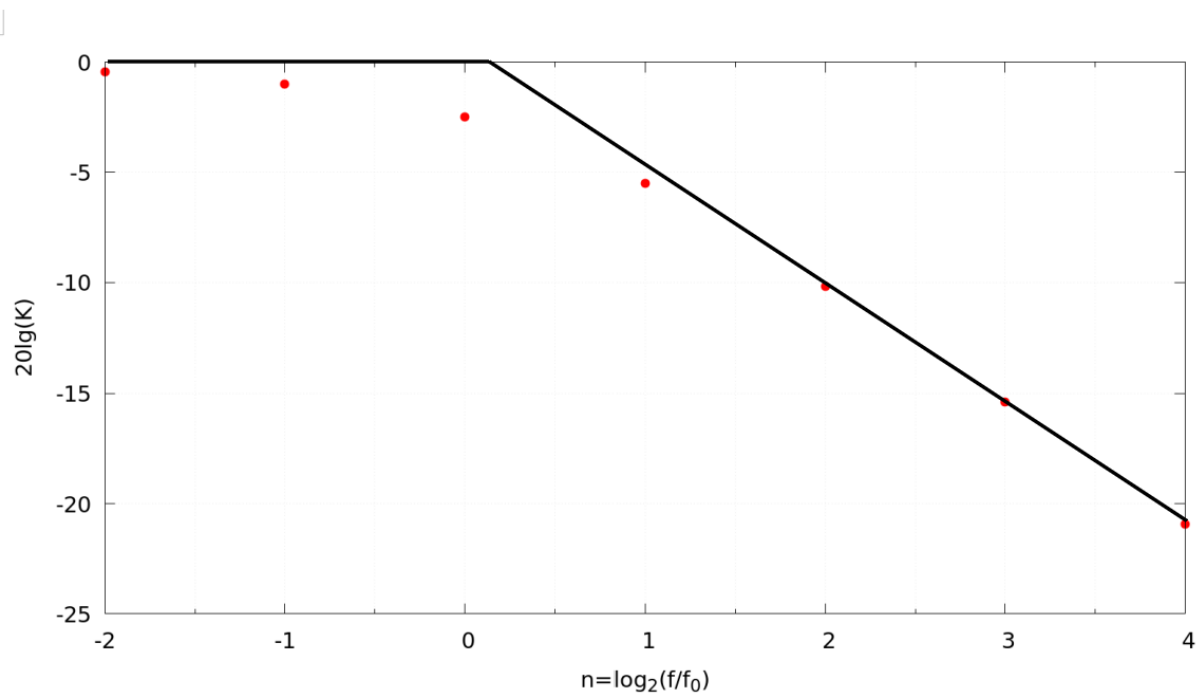


Рис. 3: Соответствующий граф Бode

По графикам оцениваем граничную частоту:

$$f_{\text{гр}} = 1680 \text{ Гц},$$

что практически совпадает с теоретической  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1600 \text{ Гц}$ .

### Постоянная времени

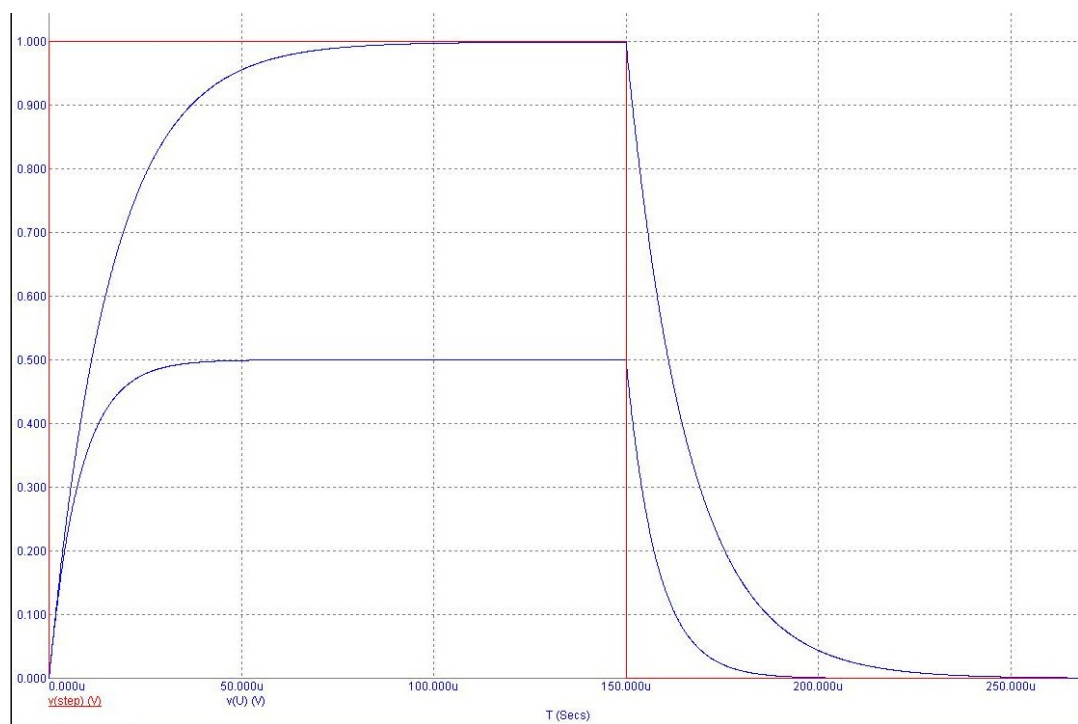


Рис. 4: Иллюстрация к определению постоянной времени

В случае интегрирующей цепочки постоянная времени равна времени нарастания фронта до уровня  $1 - 1/e$ . По осциллограмме находим  $\tau = 0,085$  мс. Проверяем сходимость результатов:

$$\frac{1}{2\pi\tau} \simeq 1872 \text{ Гц}$$

, отлично сходится с предыдущими измерениями (при данной точности эксперимента).

## Дифференцирующая цепочка

Выполняя все действия по аналогии, получаем значения

$$f_0 = 1765 \text{ Гц},$$

$$\tau = 0,091 \text{ мс}.$$

Из-за того, что напряжение в данном случае снимается с резистора, график переходной характеристики (отклик на воздействие – функцию Хевисайда) «инвертируется», и поэтому в данном случае  $\tau$  - время спада вершины импульса до уровня  $1/e$ .

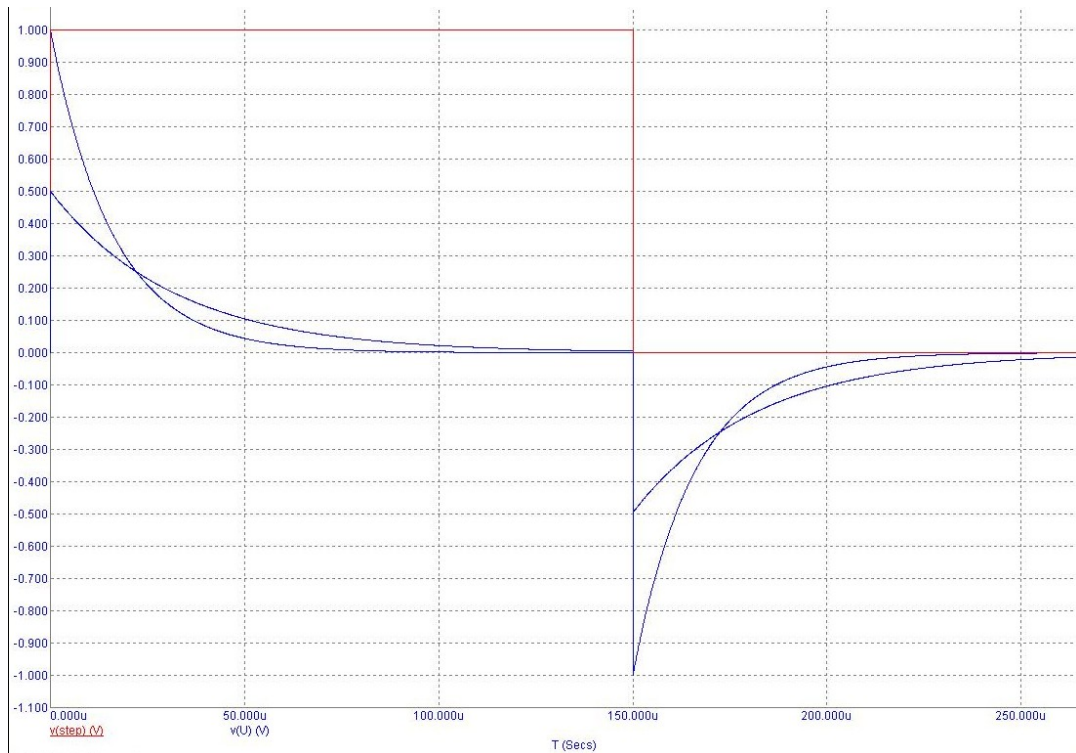


Рис. 5: Иллюстрация к определению постоянной времени

## MicroCap – интегрирующая цепочка

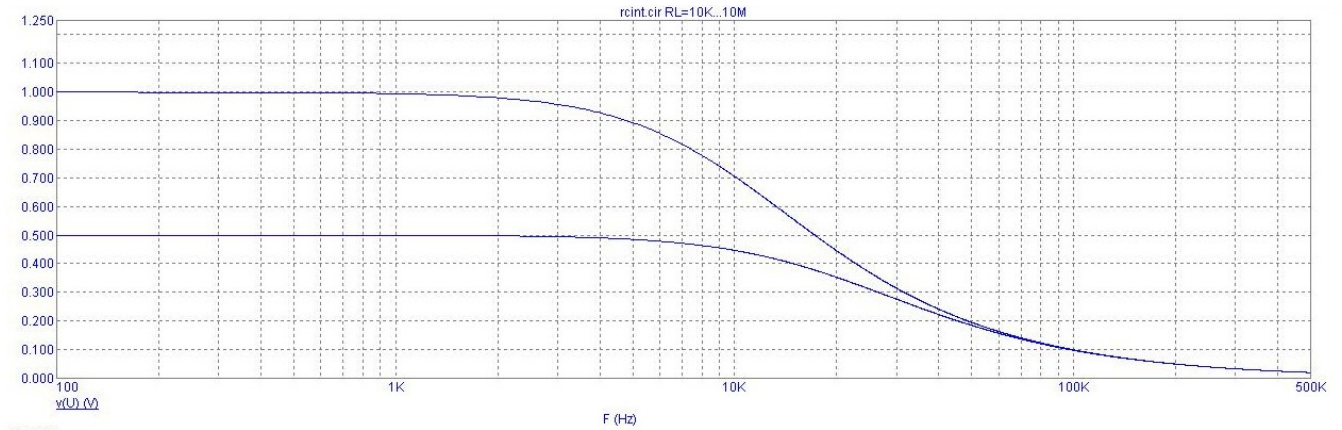


Рис. 6: Иллюстрация к определению верхней частоты

Из графика частотной характеристики получаем граничную частоту  $f_{гр} = 10$  кГц, что хорошо сходится со значением, посчитанным по формуле  $\frac{1}{2\pi\tau}$ . Из графика для переходной характеристики получаем  $\tau_{эксп} = 15,88$  мкс.

## MicroCap – дифференцирующая цепочка

Повторяем все действия. получаем граничную частоту  $f_{гр} = 10$  кГц, постоянную времени  $\tau_{эксп} = 16$  мкс.

На этот раз частотные характеристики «переворачиваются»:

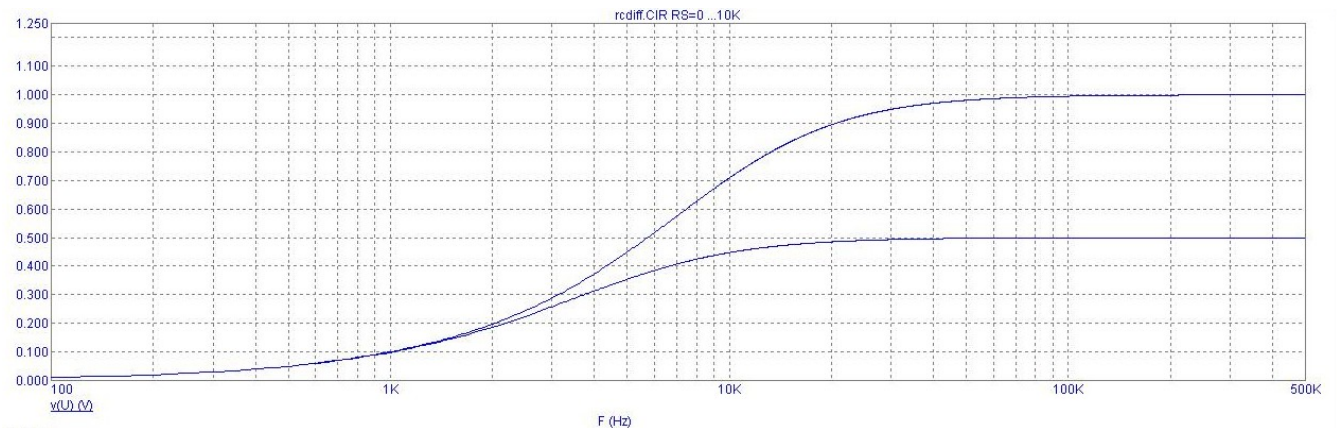


Рис. 7: Иллюстрация к определению нижней частоты

## MicroCap – распределение мощностей

На граничной частоте активная и реактивная мощности, выделяющиеся в схеме, равны по модулю и противоположны по знаку:

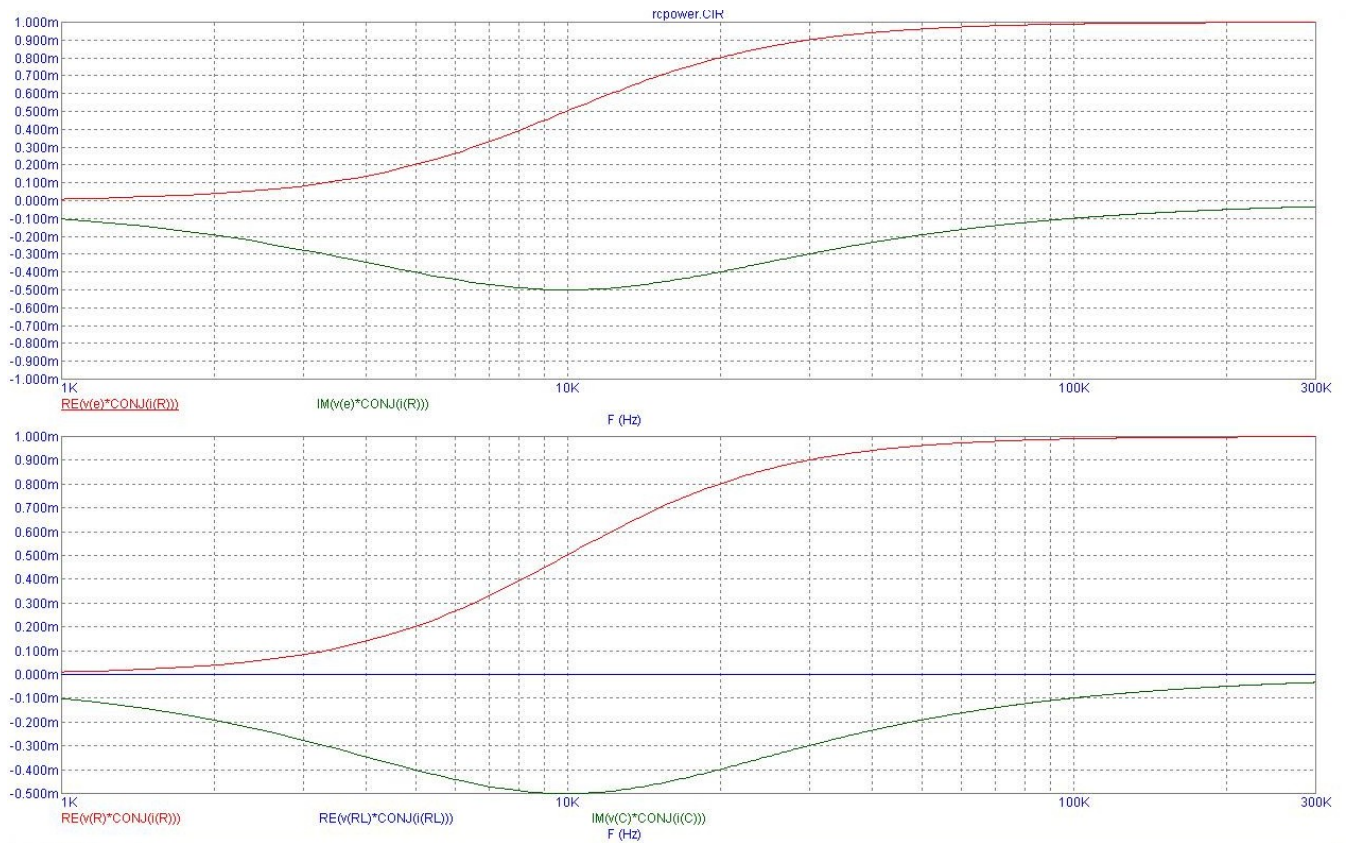


Рис. 8: Закон сложения мощностей

## RC-звенья второго порядка

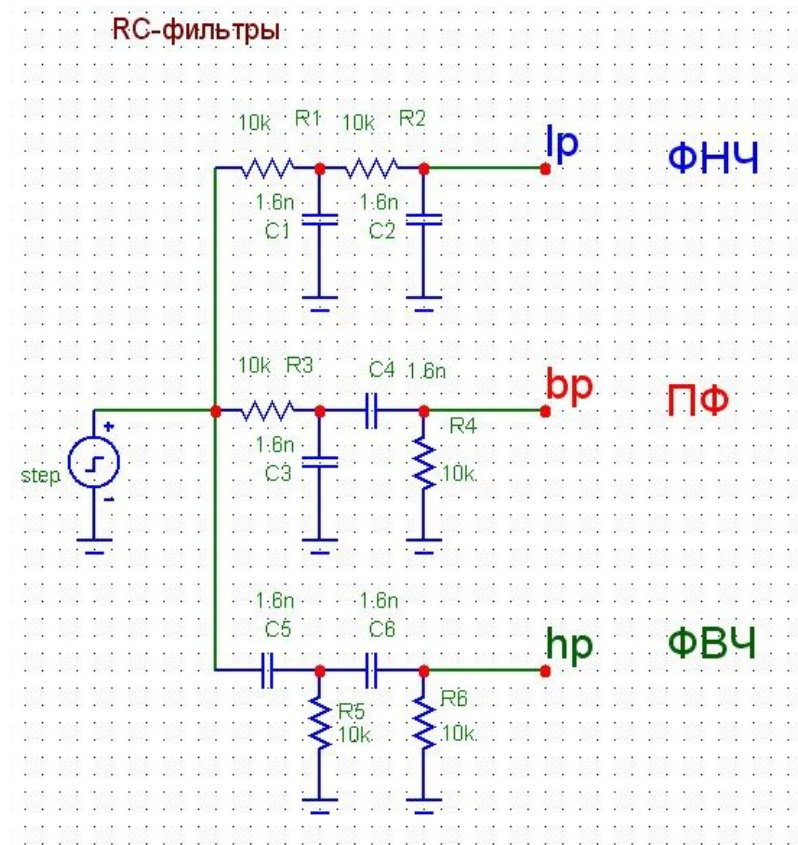


Рис. 9: Схема изучения звеньев второго порядка

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 9947 \text{ Гц.}$$

На частоте  $f_0$  для всех трех фильтров затухание одинаково и равно  $K = -9,5 \text{ dB}$ .

### Скорость нарастания затухания:

**ФНЧ:**  $40 \text{ dB/дек}$ , **ПФ:**  $20 \text{ dB/дек}$ , **ФВЧ:**  $40 \text{ dB/дек}$ .

### Сдвиг фаз на разных частотах

$\omega$	0	$f_0$	$\infty$
<b>ФНЧ</b>	$0^\circ$	$-90^\circ$	$-180^\circ$
<b>ПФ</b>	$90^\circ$	$0^\circ$	$-90^\circ$
<b>ФВЧ</b>	$180^\circ$	$90^\circ$	$0^\circ$

Таблица 2: Сдвиги фаз

Двусторонняя полоса пропускания между точками со сдвигом фаз  $\pm\pi/4$ :

$$\Delta f = 29 \text{ кГц} \simeq 3f_0.$$

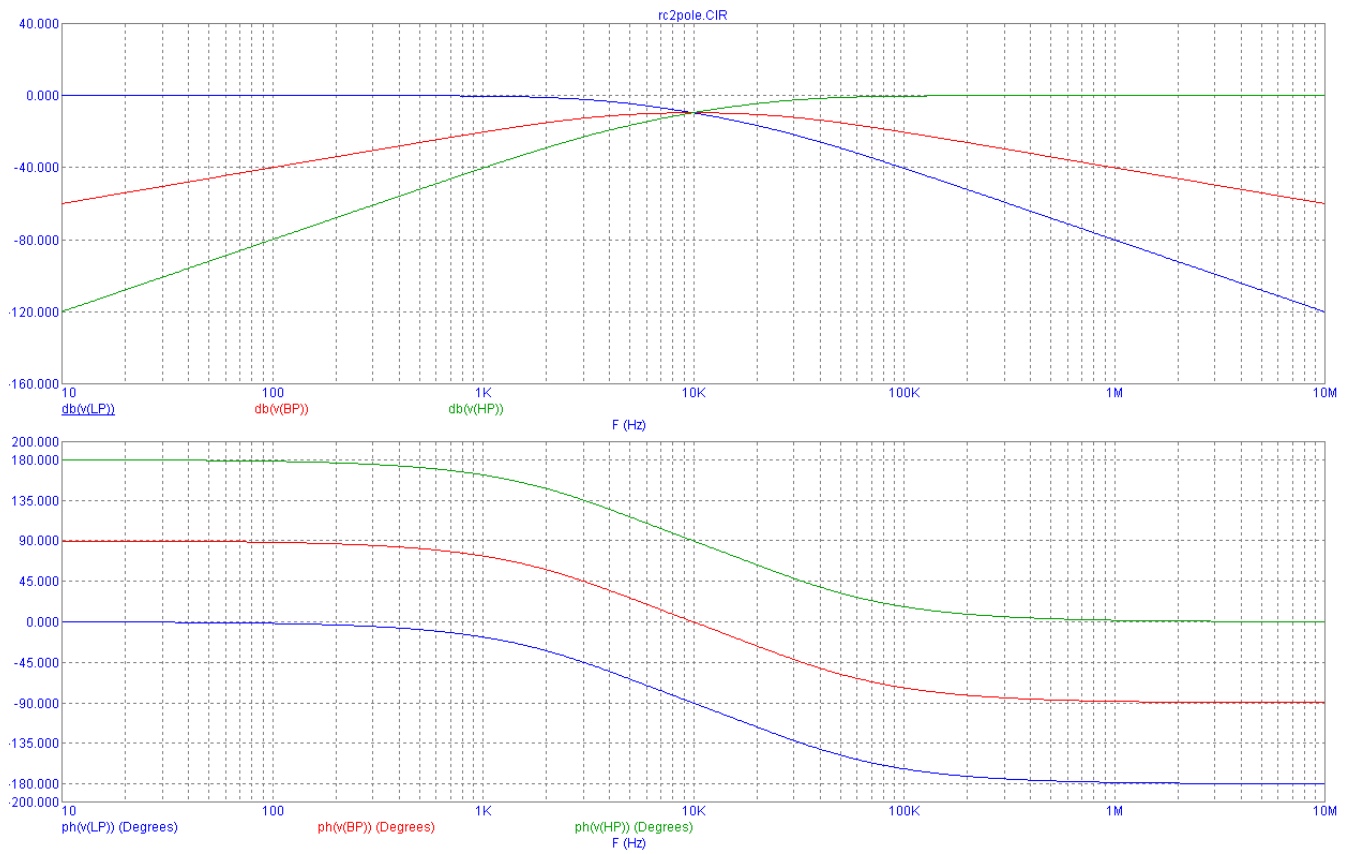


Рис. 10: Анализ звеньев второго порядка

## Переходная характеристика

Время спада выброса до уровня  $1/e$ :  $\tau_- = 4,9$  мкс (ФВЧ); время нарастания фронта до уровня  $1 - 1/e$ :  $\tau_+ = 48$  мкс (ФНЧ).

$$\tau_+/\tau_- \simeq 10.$$



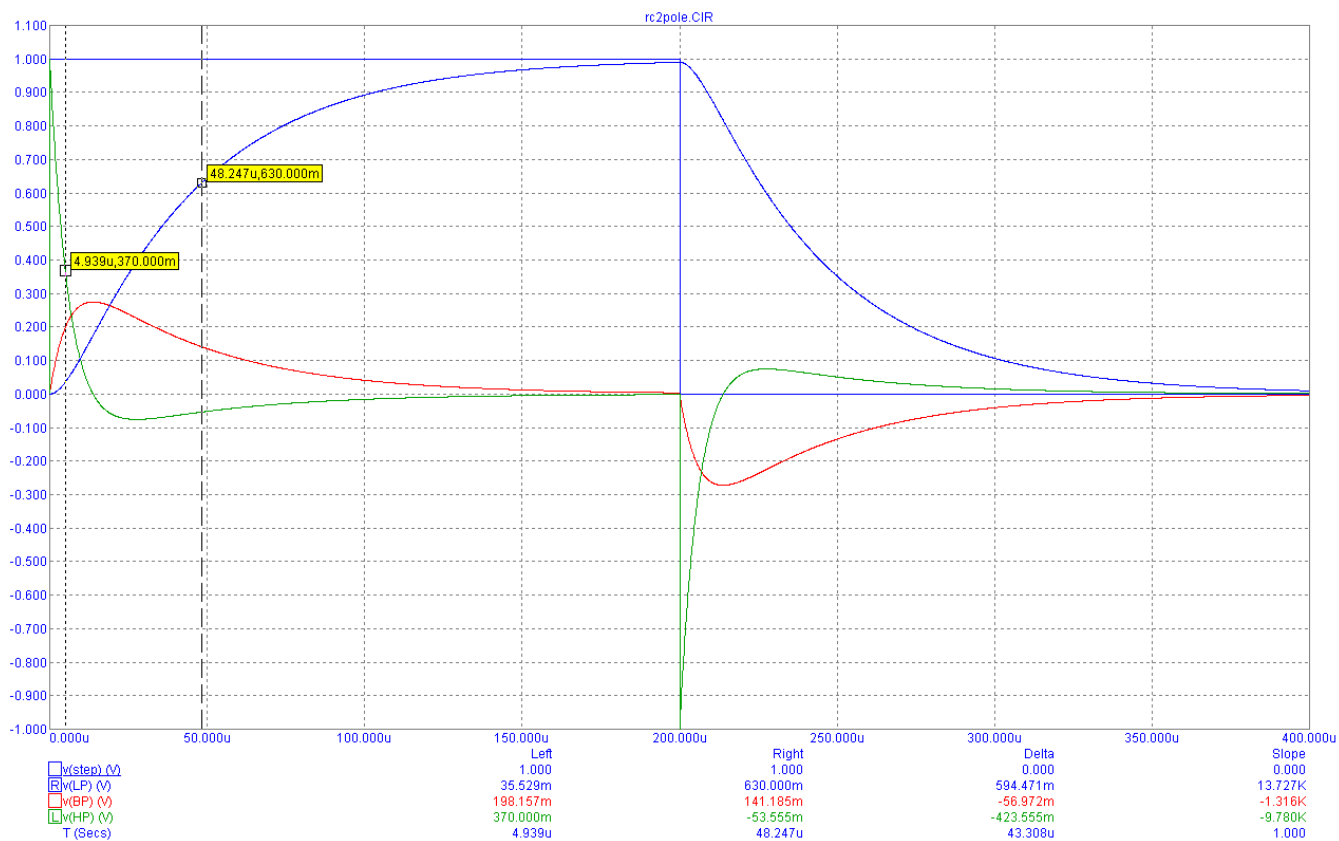


Рис. 11: Анализ звеньев второго порядка – переходная характеристика

## Фазовращатели

Наибольший диапазон перестройки фазы  $\Delta\varphi = 121^\circ$  при  $f = 25$  кГц:

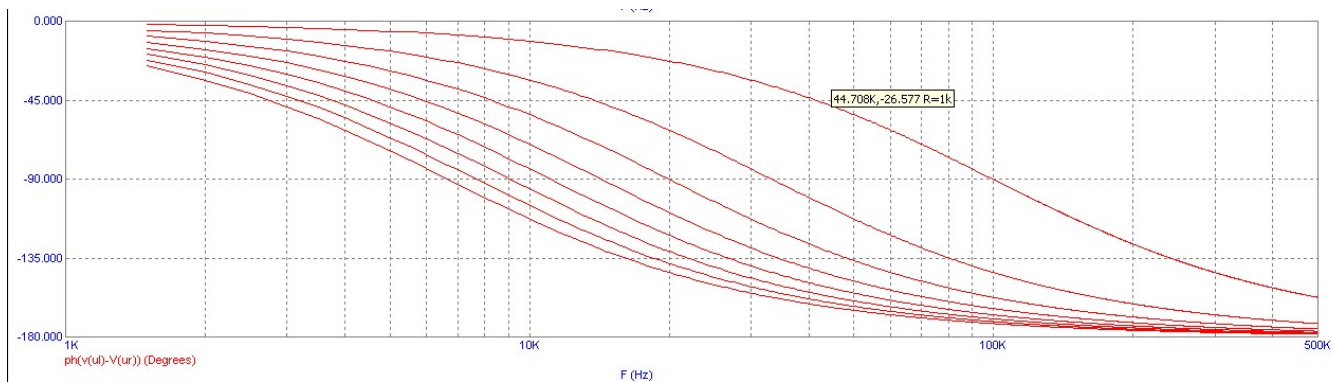


Рис. 12: Фазовращатель

## Двойной Т-образный мост

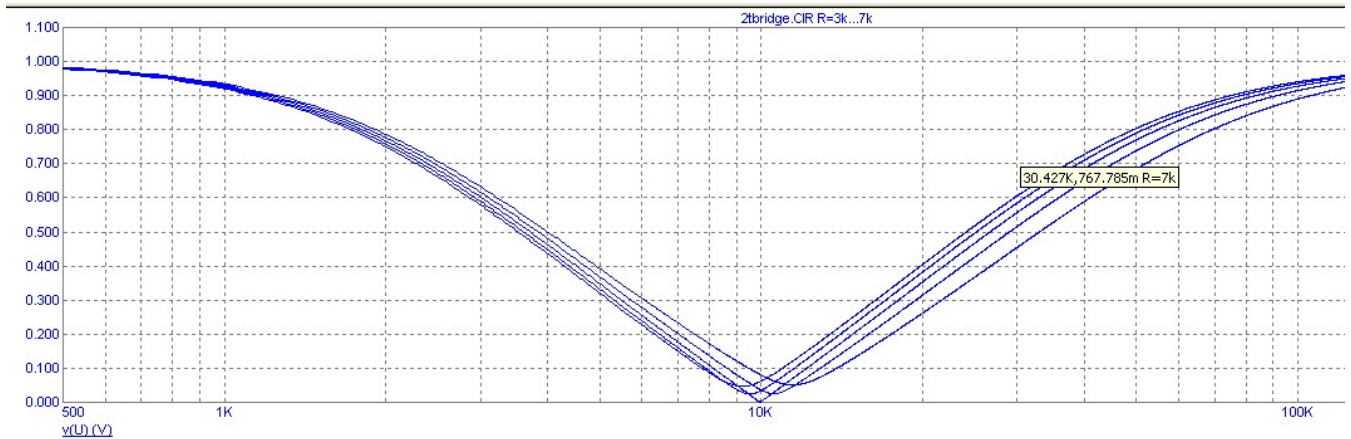


Рис. 13: К измерению ширины полосы режекции

Ширина полосы режекции по уровню  $-3\text{ dB}$  равна  $\Delta f = 39\text{ кГц}$ .  $\Delta f \simeq 4f_0$ .

## Переходная характеристика

Время спада первого пика до уровня  $1/e$ :  $\tau_+ = 4\text{ мкс}$ ; время нарастания вершины до уровня  $1 - 1/e$ :  $\tau_- = 55\text{ мкс}$ . Теоретические значения:  $\tau_+ = 4,2\text{ мкс}$ ,  $\tau_- = 59\text{ мкс}$ , что хорошо согласуется с экспериментом.

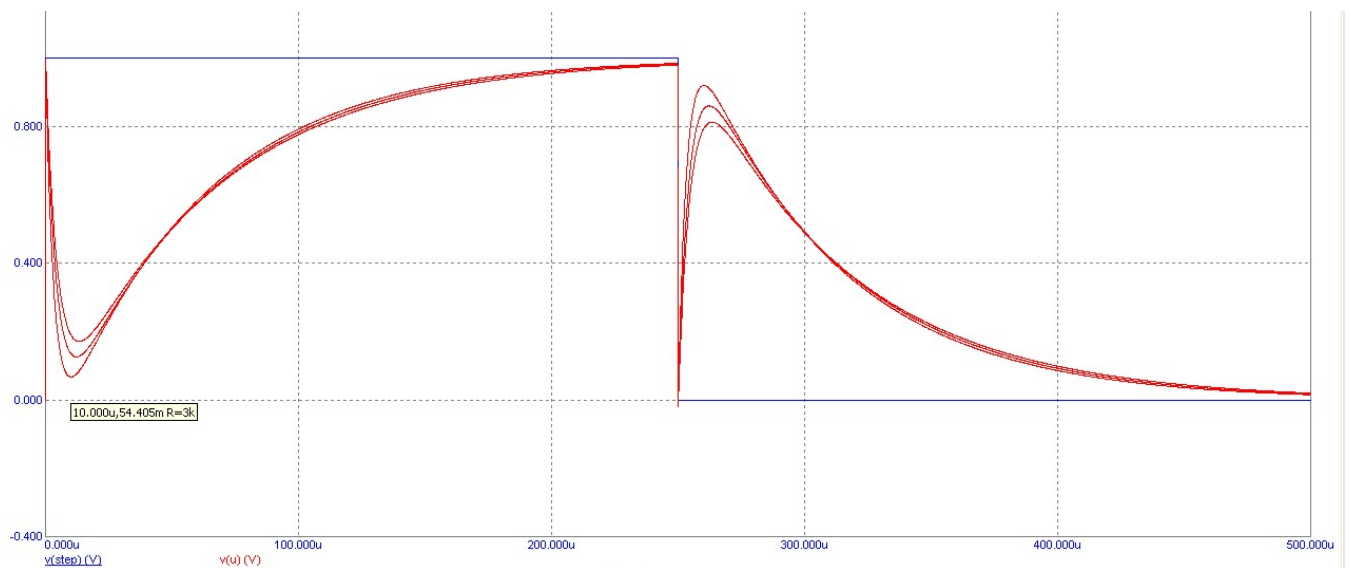


Рис. 14: Степнинг переходной харатеристики,  $R = [3k, 7k|2k]$

## Частоты и добротности нулей передачи при разных R

Определим добротности нулей передачи, измеряя полосы  $\Delta f$  по интервалам изменения фазы на  $\pm\pi/4$ :

$R$	$4,9k$	$5,0k$	$5,1k$
$\Delta f, \text{ Гц}$	51	0	50
$Q$	200	$\infty$	200
$f_0, \text{ Гц}$	10048	9997	9948

Таблица 3: Добротности нулей передачи

## Последовательный резонанс

Соберём полосовой фильтр с параметрами  $C = 1000 \text{ пФ}$ ,  $L = 220 \text{ мкГн}$ ,  $r = 91 \text{ Ом}$ :

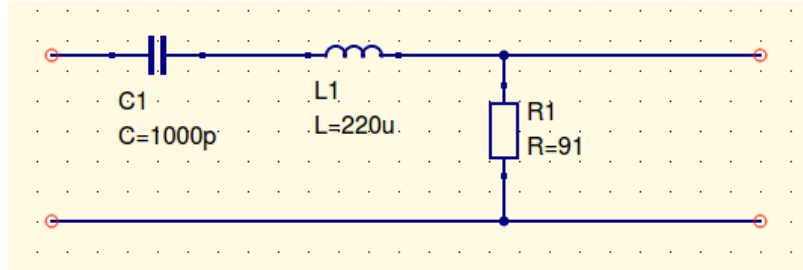


Рис. 15: Схема полосового фильтра

Резонансная частота:

$$f_{\text{теор}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 340 \text{ кГц},$$

$$f_{\text{эксп}} = 376 \text{ кГц}.$$

Коэффициент передачи на резонансной частоте  $K(f_0) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = 0,86$  Ширина пика по уровню  $-3 \text{ dB}$ :

$$\Delta f = |309 \text{ кГц} - 441 \text{ кГц}| = 132 \text{ кГц}$$

$$Q_{\text{теор}} = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} = 5,15$$

$$Q_{\text{эксп}} = \frac{f_0}{\Delta f} = 2,8$$

Расхождение, очевидно, вызвано неучтённым сопротивлением катушки и проводов.

## Переходная характеристика

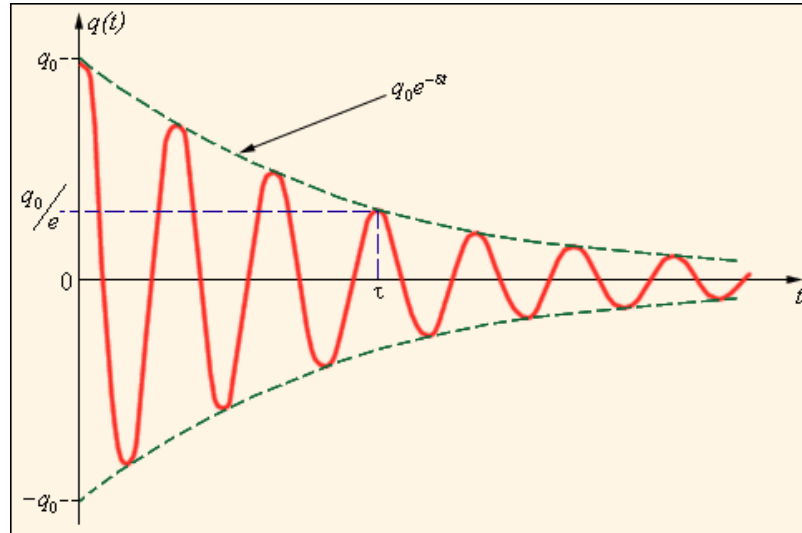


Рис. 16: переходная характеристика резонансной цепочки

Время затухания до уровня  $1/e$ :  $\tau = 2,9$  мкс. Период колебаний  $T = 2,9$  мкс.

$$\tau = \frac{2L}{R} = \frac{QT}{\pi} \rightarrow Q = \frac{\pi\tau}{T} \simeq 3,$$

$$f_0 = 1/T \simeq 344 \text{ кГц}$$

Как видим, и таким методом получаем отличное сходжение с экспериментом.

## Изучение резонансных цепочек в MicroCap

Графики и зависимости, полученные теоретически в программе моделированием, отлично сходятся с экспериментами, поставленными выше на реальных цепях.

## Зависимость групповых задержек полосового фильтра от R

$R, \text{ Ом}$	$\tau_g, \text{ мс}$
10	444
20	277
40	156
100	64

Таблица 4: Групповые задержки

Получаем хорошую сходимость с теоретической формулой, которая легко может быть получена из определения групповой задержки:

$$\tau_g = -\frac{d\varphi}{d\omega} = \frac{Q}{\pi f_0}$$

## Выводы

Были получены навыки работы с простейшими электрическими цепями, изучены основные методы обработки сигналов, коэффициентов передачи и прочих характеристик линейных цепей. Изучены основные понятия электротехники.