

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА РАДИОТЕХНИКИ И КИБЕРНЕТИКИ

Активные фильтры

Работу выполнили:

Шурыгин Антон Алексеевич, группа Б01-909
Тяжкороб Ульяна Владимировна, группа Б01-909
Широкова Ксения Михайловна, группа Б01-909

Долгопрудный, 2021

Содержание

1 Звенья первого порядка.

1.1

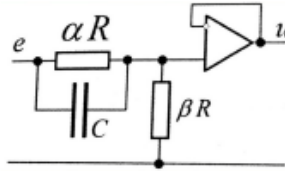


Рис. 1 Пропорционально дифференцирующее звено.

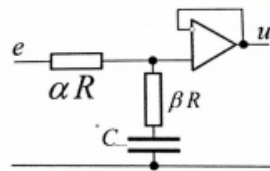


Рис. 2 Пропорционально интегрирующее звено.

Измерим уровни подавления на частоте f_0 и в полосах задержания для пропорционально интегрирующей и дифференцирующей цепей с полюсом в точке $s = \frac{p}{\omega_0} = -1$, $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 10\text{k}$ и нулями в точках $s = -2, s = -\frac{1}{2}$. Измерим уровни подавления на частоте f_0 и в полосах задержания.

$$\delta = \frac{\beta}{\beta + \alpha} = \frac{1}{2} \text{--- уровень подавления в полосе задержания}$$

Подавление на частоте $f_0 = 10\text{k}$:

$$\frac{4}{5}\text{-интегрирующее звено, } \frac{1}{5}\text{-дифференцирующее звено.}$$

1.2

Изменим номиналы резисторов в схемах так, чтобы сохранив положения полюсов, переместить нули в точки $s = -4$, $s = -\frac{1}{4}$.

$\delta = \frac{1}{4}$ - уровень подавления в полосе задержания. Уровень подавления на частоте f_0 : $\frac{1}{2}$ - интегрирующая, $\frac{3}{20}$ - дифференцирующая.

1.3

Откроем модель реального интегратора с частотой единичного усиления $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 10\text{k}$ и усилением $K = \frac{R_k}{R}$, $R_k = [20\text{k}, 640\text{k} | \log 2]$.

f_1 , Гц	10k	10k	10k	10k	10k	10k
K	2	4	8	16	32	64
f_0 , Гц	5k	2.5k	1.25k	0.62k	0.31k	0.16k

Рис. 3

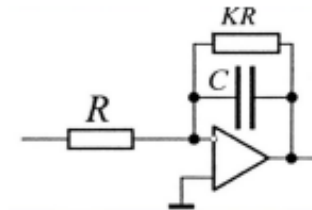


Рис. 4 Реальный интегратор.

$f_1 = f_0 K$ - соотношение выполняется

1.4

Подключим источник *step* единичного перепада. Изучим переходные характеристики интегратора $h(\frac{\tau}{\tau_1})$, $\tau_1 = RC = 15.92\mu$.

Варьируем $R_k = [20k, 640k | \log 2]$ и оцениваем значения ошибок интегрирования в точках $\frac{\tau}{\tau_1} = \frac{k}{2}$

Подключим источник *pulse*. Изучим переходные характеристики интегратора $h(\frac{t}{\tau_1})$, $\tau_1 = RC = 15.92\mu$.

Варьируем $R_k = [20k, 640k | \log 2]$ и оцениваем значения ошибок интегрирования в точках $\frac{\tau}{\tau_{au1}} = \frac{k}{2}$.

Результат занесен в таблицу.

$\frac{\tau}{\tau_1}$	R_k, k	error
1	20	0.185
2	40	0.384
4	80	0.781
8	160	1.578
16	320	3.177
32	640	6.4

Таблица 1 Ошибка интегрирования при варьировании R_k (*step*)

$\frac{\tau}{\tau_1}$	R_k, k	error
1	20	0.582
2	40	1.178
4	80	2.356
8	160	4.722
16	320	9.456
32	640	18.927

Таблица 2 Ошибка интегрирования при варьировании R_k (*pulse*)

2 Активные звенья с двойным Т-мостом

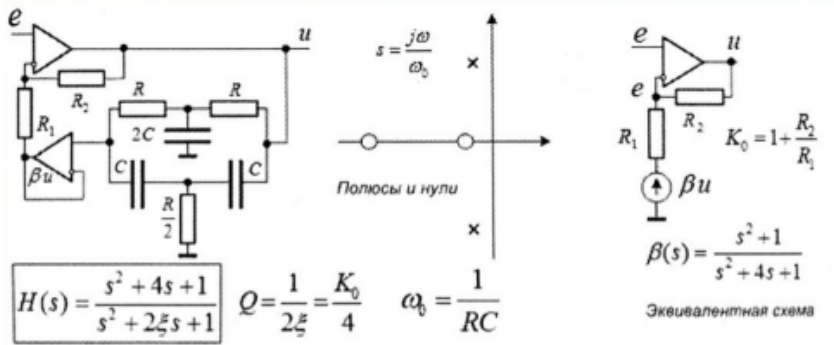


Рис. 5 Полосовой фильтр с двойным Т - мостом.

2.1

Откроем модель полосового фильтра с $f_0 = 10\text{к}$, $K_0 = 20$. Измерим усиление на частоте f_0 и полосу Δf по уровню -3dB. Получаем $K_0 = 20.92$, $\Delta f = 1.93$ ($R_2 = 20\text{к}$).

R_2 , Ом	40к	60к	80к	100к
K_0	41.02	61.12	81.11	101.24
Δf , Гц	979	643	495	397

Рис. 6 Зависимость пикового усиления и ширины полосы от R_2 .

2.2

Изучим поведение фильтра при разбалансировании моста варьированием R_5 . Снимем зависимость от R_5 пикового усиления.

$R_5, \text{ Ом}$	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
K_0	32.45	43.76	79.67	956.78	90.57	42.88	28.11	20.97	16.88

Рис. 7 *

Зависимость пикового усиления от R_5 .

2.3

Измерим уровни скачка в нуле и первого выброса: уровень скачка - 1В при $R_5 = 5\text{ кОм}$. Оценим значение R_5 , при котором фильтр теряет устойчивость.

$R_5, \text{ Ом}$	5k	4.5k	4k	3.5k	3k	2.5k
выброс	4.29	4.49	4.72	5.0	5.36	5.82

2.4

Откроем модель режекторного фильтра с $f_0 = 10\text{ кГц}$, $\gamma = 0.1$.

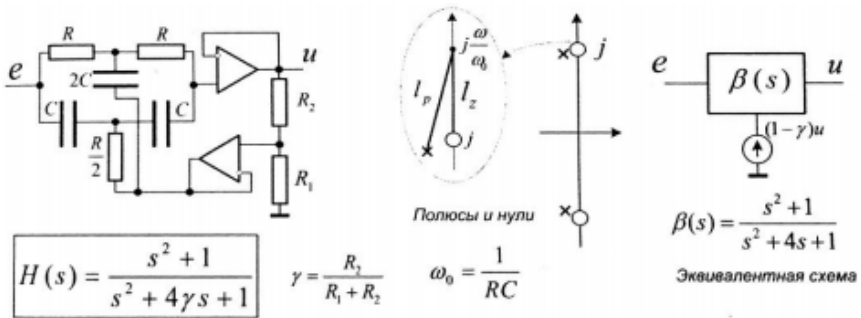


Рис. 8 Режекторный фильтр с двойным Т - мостом.

Измерим ширину полосы режекции Δf по уровню $0.7 = -3\text{дБ}$. Получим: $\Delta f = 4.07\text{ кГц}$.

2.5

Измерим уровни скачка в нуле и первого выброса. Получим: уровень скачка - 1В, первый выброс - 697.5 мВ.

3 Звенья Саллена-Ки.

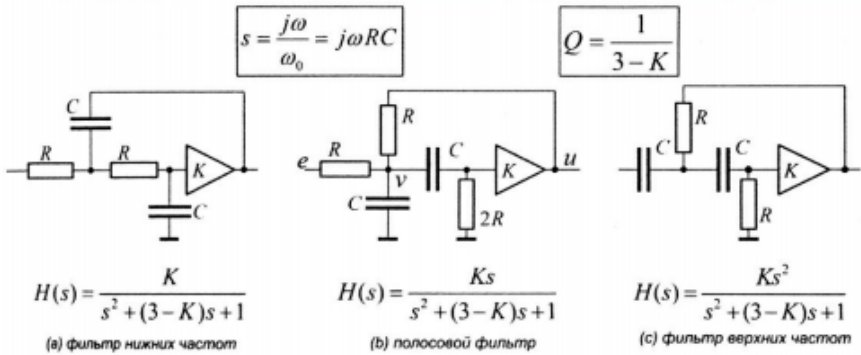


Рис. 9 *
Звенья Саллена-Ки.

3.1

Откроем модель звеньев Саллена-Ки с частотой $f_0 = 10\text{k}$ и добротностью $Q = 1$. Измерим значения коэффициентов передачи при $f = f_0$. Получим:

$$K_0 = 2, k_{lp} = 29.44, K_{hp} = 28.485, K_{bp} = 28.898$$

3.2

Откроем модель с фильтрами Баттерворта верхних и нижних частот порядка $n = 3$ на частоту среза $f_0 = 10\text{k}$. Измерим скорости спада в dB на октаву и затухания на частотах $f_0/2, 2f_0$:

ВЧ: затухание на $f_0/2$: -18 dB , скорость спада $-15 \frac{\text{dB}}{\text{дек}}$

НЧ: затухание на $2f_0$: -18 dB , скорость спада $15 \frac{\text{dB}}{\text{дек}}$

Измерим уровни затухания фильтров Чебышева на частотах $f_0/2$, $2f_0$:

ВЧ: затухание на $f_0/2$: -30 dB, скорость спада $-18 \frac{\text{dB}}{\text{дБ}}$ дек

НЧ: затухание на $2f_0$: -30 dB, скорость спада $18 \frac{\text{dB}}{\text{дБ}}$ дек .

3.3

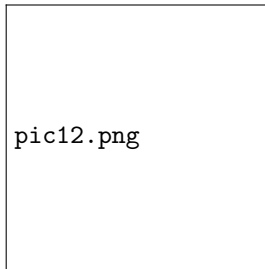
Откроем прототип , реализуем 4-полюсной полосовой фильтр Чебышева с $f_0 = 10\text{k}$, $\epsilon = 1$, $Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 6$. Измерим затухания на частотах $f_0/2$, $2f_0$, $f_0/10$, $10f_0$.

f	$f_0/2$	$2f_0$	$f_0/10$	$10f_0$
затухание	1.83	1.75	-27.9	-27.9

4 Звенья с двойной обратной связью.

4.1

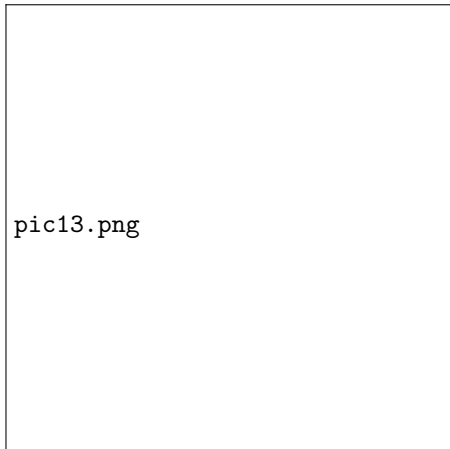
Полосовое звено с $f_0 = 5\text{k}$, $K_0 = 5$, $Q = 15$



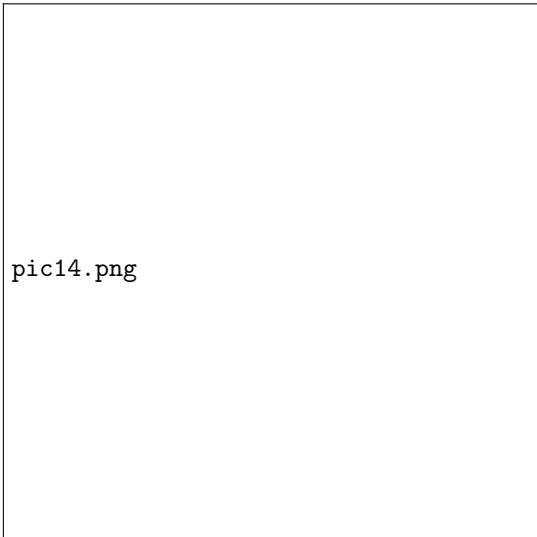
$f_{\max} = 4.980\text{k}$, $\Delta f = 338$ - ширина полосы по уровню 0.7. $Q = \frac{f_{\max}}{\Delta f} = 14.7$, $QK_0 = 73.5$ - пиковое усиление.

Построим график зависимости частоты пика от R_2

На практике:



pic13.png



pic14.png

$$f_{\max} = 5.05k, K_0 = 5.77$$

5 Полосовое звено на сдвоенном усилителе.

5.1

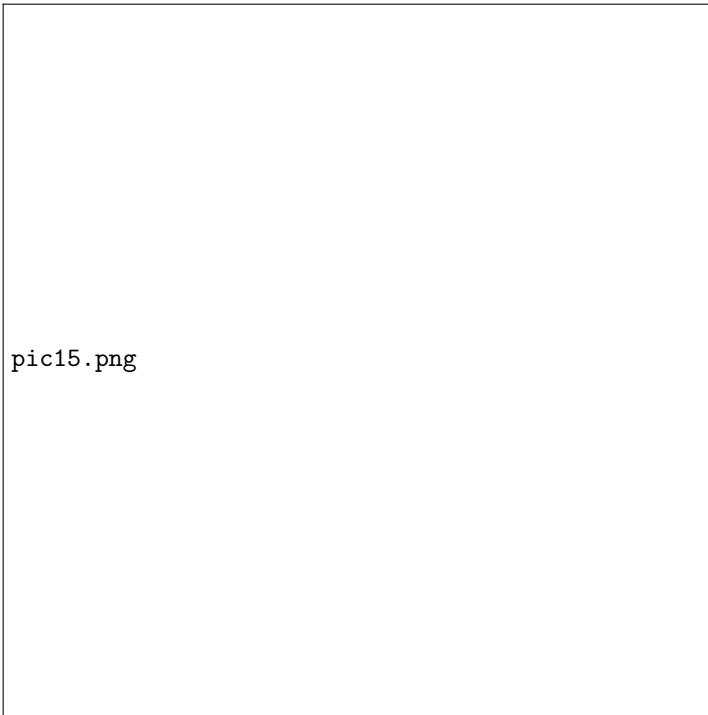


Рис. 10 *

Полосовой фильтр на сдвоенном операционном усилителе.

По частотной характеристике звена оценим его параметры: $f_0 = 10\text{k}$, $Q = 9.7$. Измерим значение добротности при $R_2 = 6400\text{k}$.

5.2

Измерим частоту и уровень пика при $R_5 = 1.11\text{k}$ ($\gamma = \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 0.1$):
 $f = 31.415\text{k}$, уровень пика - 24.079

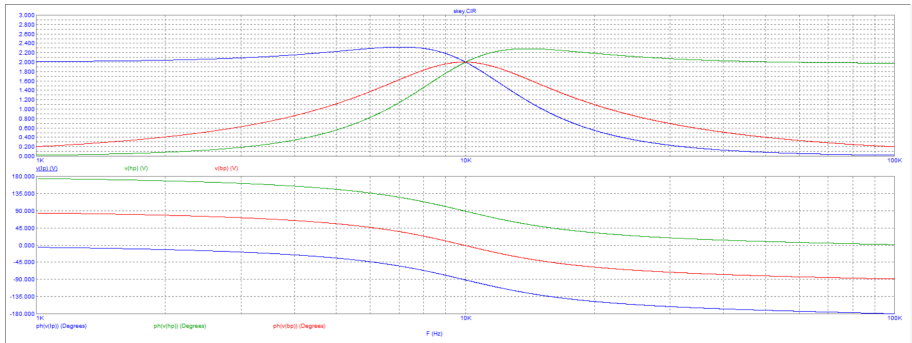


Рис. 11

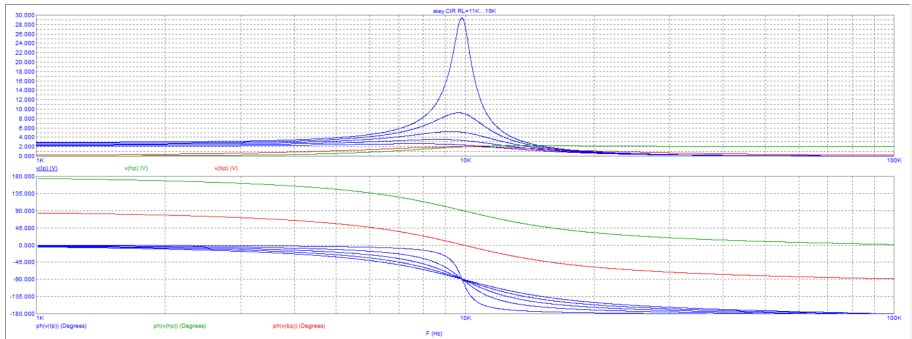


Рис. 12 Варьирование $R_L = [11K, 19K|2K]$

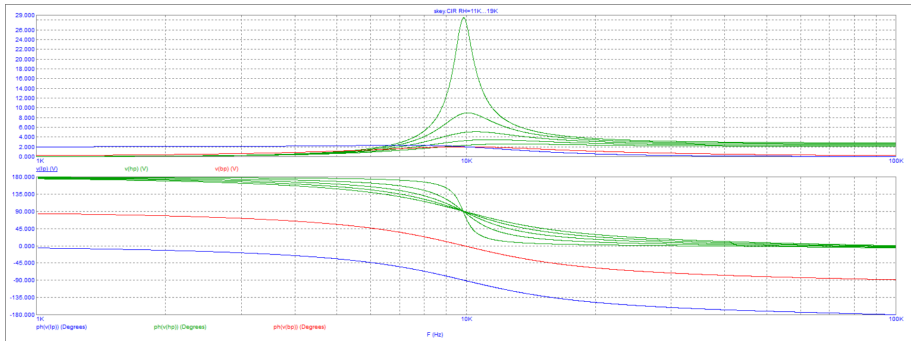


Рис. 13 Варьирование $R_H = [11K, 19K|2K]$

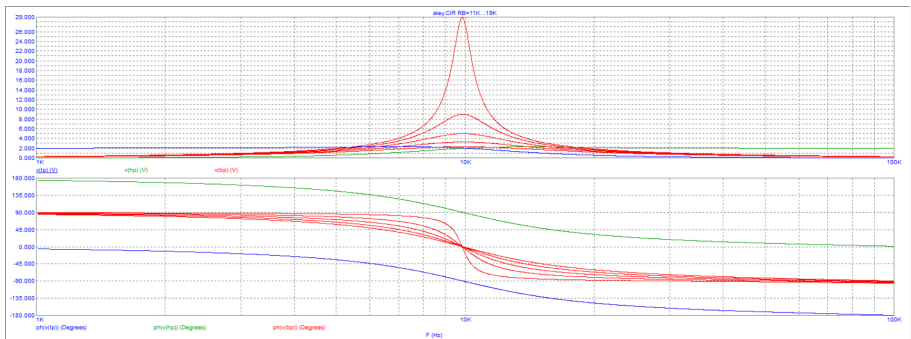


Рис. 14 Варьирование $R_B = 11K, 19K|2K]$

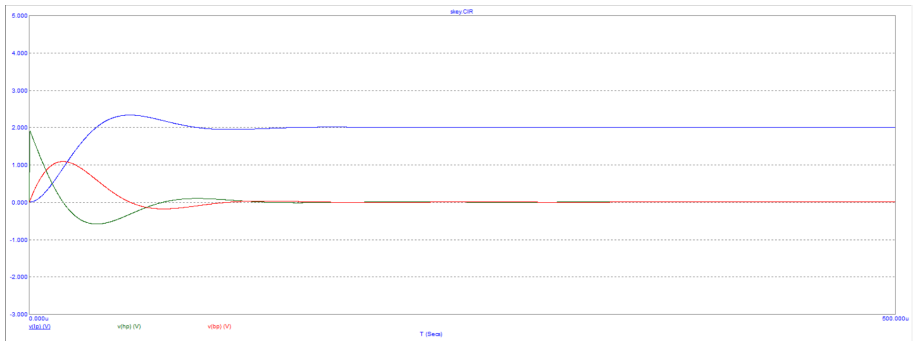


Рис. 15 Варьирование $R_B = 11K, 19K|2K$

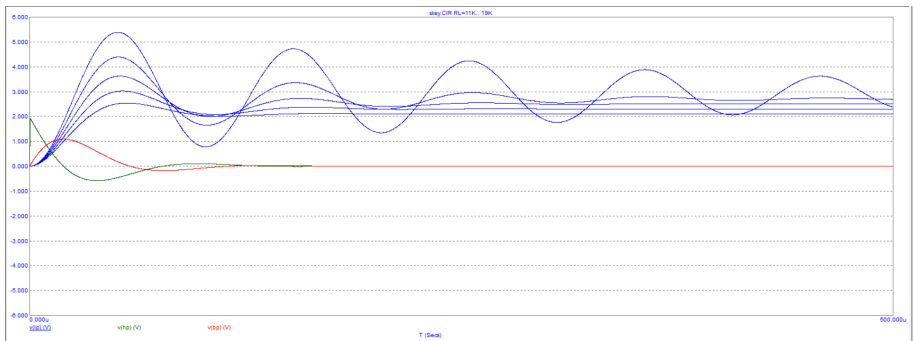


Рис. 16 Варьирование $R_B = 11K, 19K|2K$

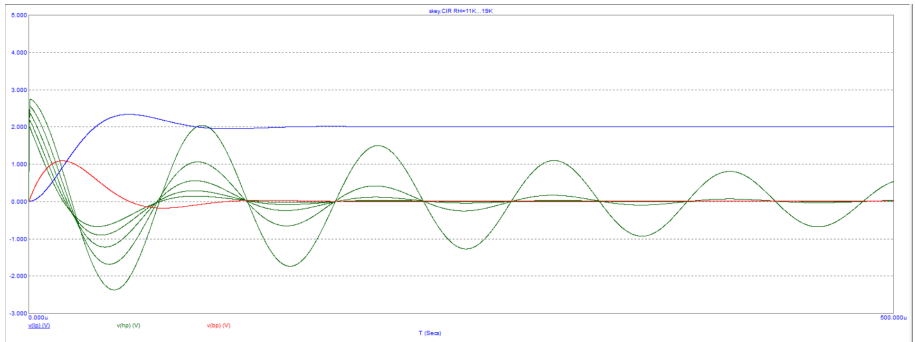


Рис. 17 Варьирование $R_B = 11K, 19K|2K$

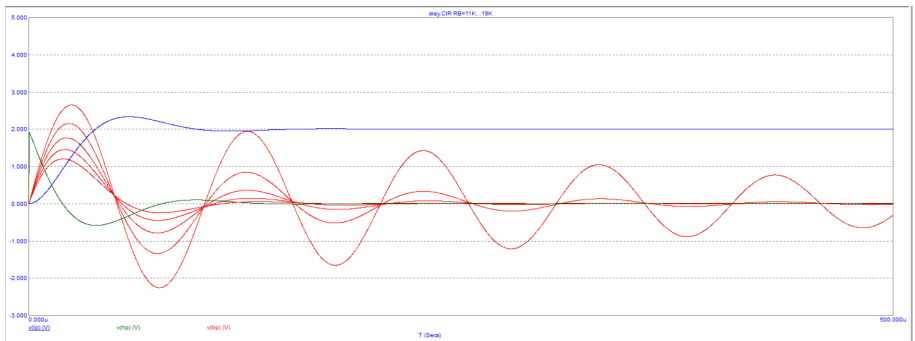


Рис. 18 Варьирование $R_B = 11K, 19K|2K$

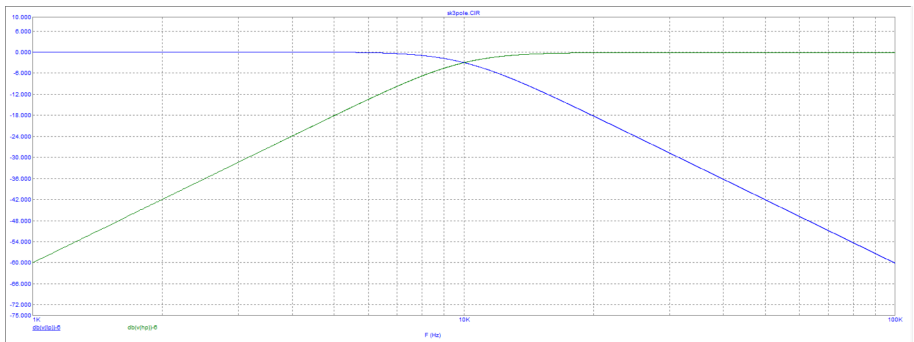


Рис. 19 Варьирование $R_B = 11K, 19K|2K$