

Работа №19

Активные фильтры

Симанкович Александр
Б01-104

9 мая 2023 г.

9.2 Активные звенья с двойным Т-мостом

Изучим полосовой фильтр с $f_0 = 10k$, $K_0 = 20$.

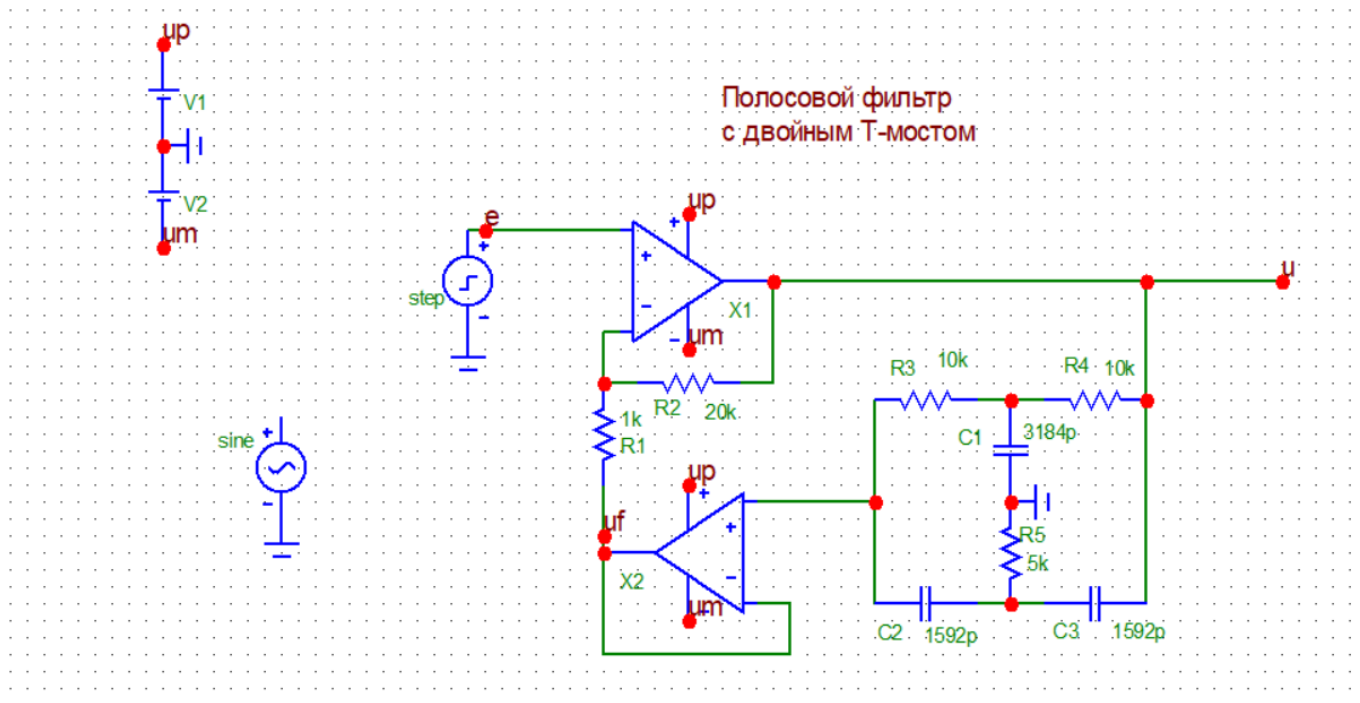


Рис. 1: Схема

Проварьируем $R_2 = [20k, 100k|20k]$.

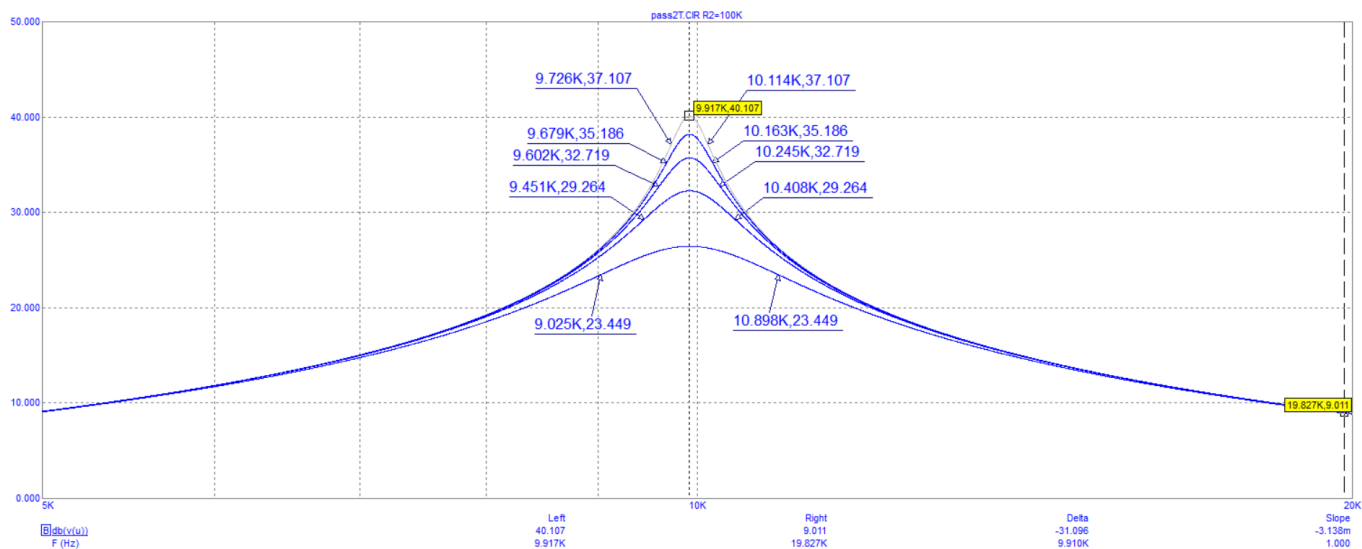


Рис. 2: АЧХ

Изучим поведение фильтра при варьировании $R_5 = [1.5k, 5.5k|500]$ Максимум достигается при $R_5 \approx 3k$

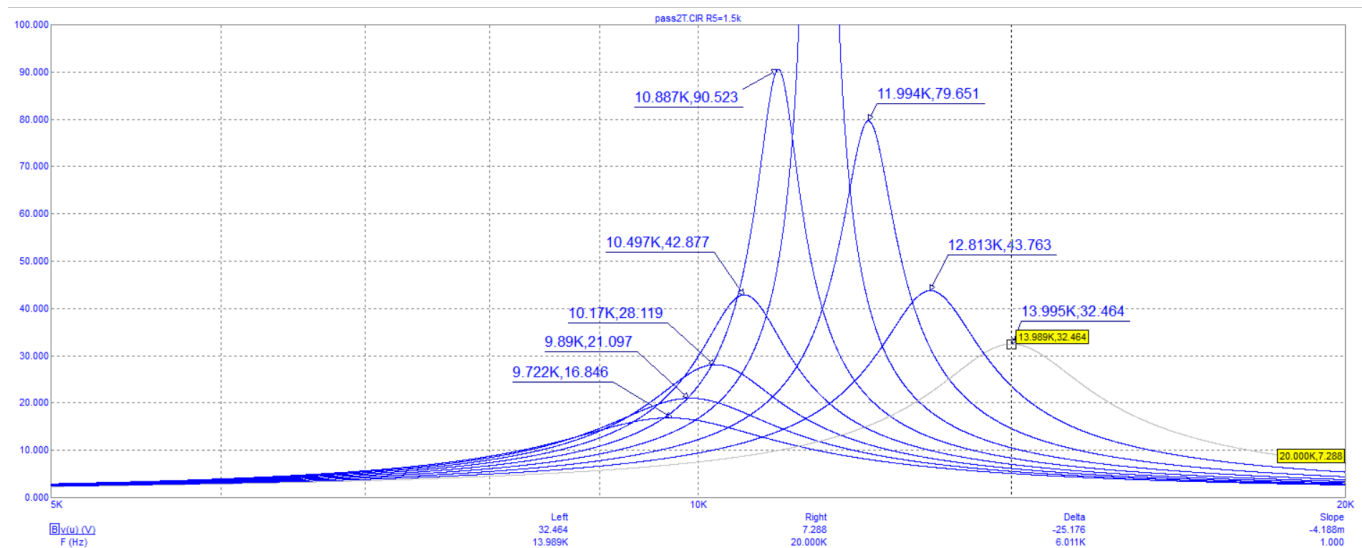


Рис. 3: АЧХ

Рассмотрим переходную характеристику:

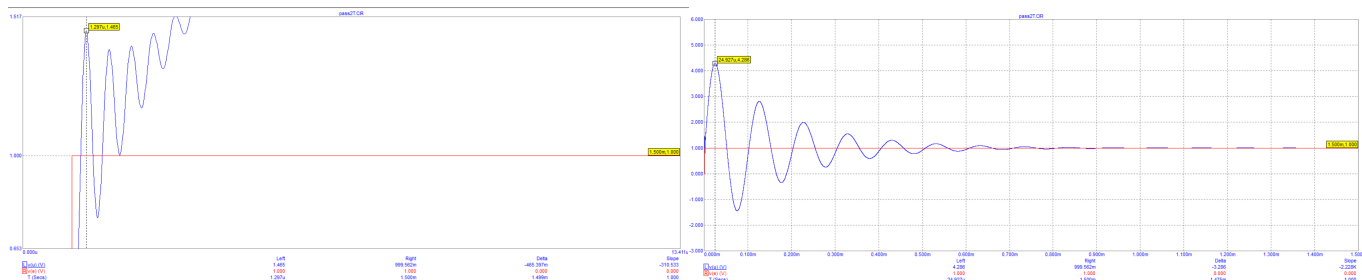


Рис. 4: Переходная характеристика полосового фильтра

Изучим переходную характеристику при варьировании $R_5 = [5.0k, 2.5k|500]$. Видно, что при $R_5 < 3k$ фильтр устойчив.

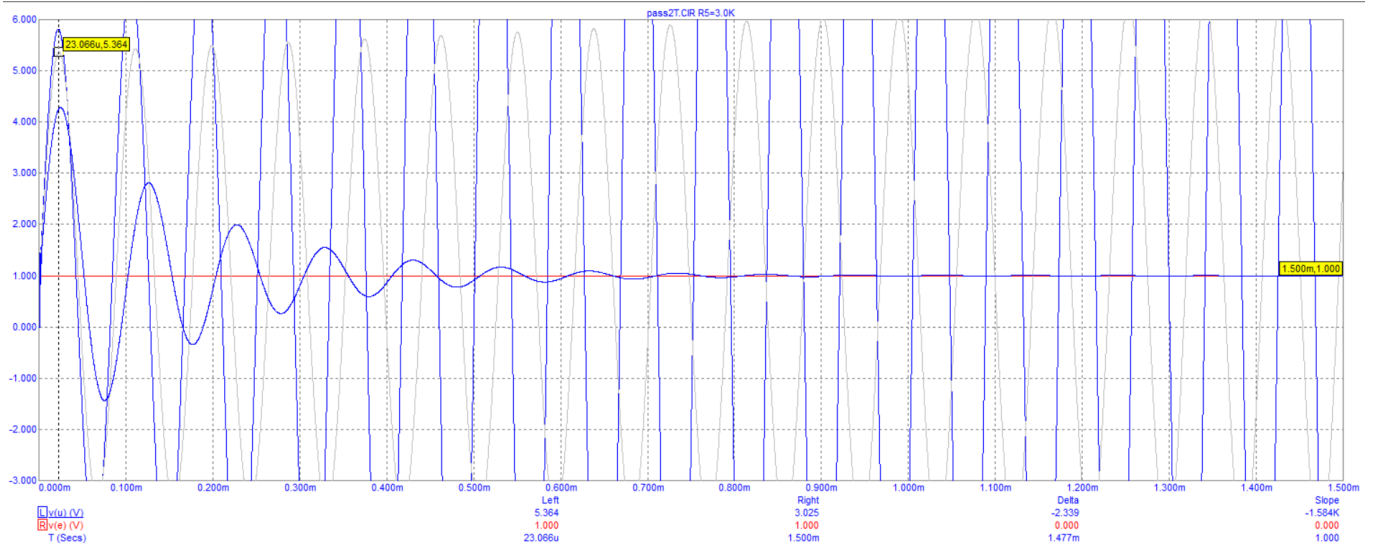


Рис. 5: Переходная характеристика

Изучим модель режекторного фильтра $f_0 = 10k, \gamma = 0.1$.

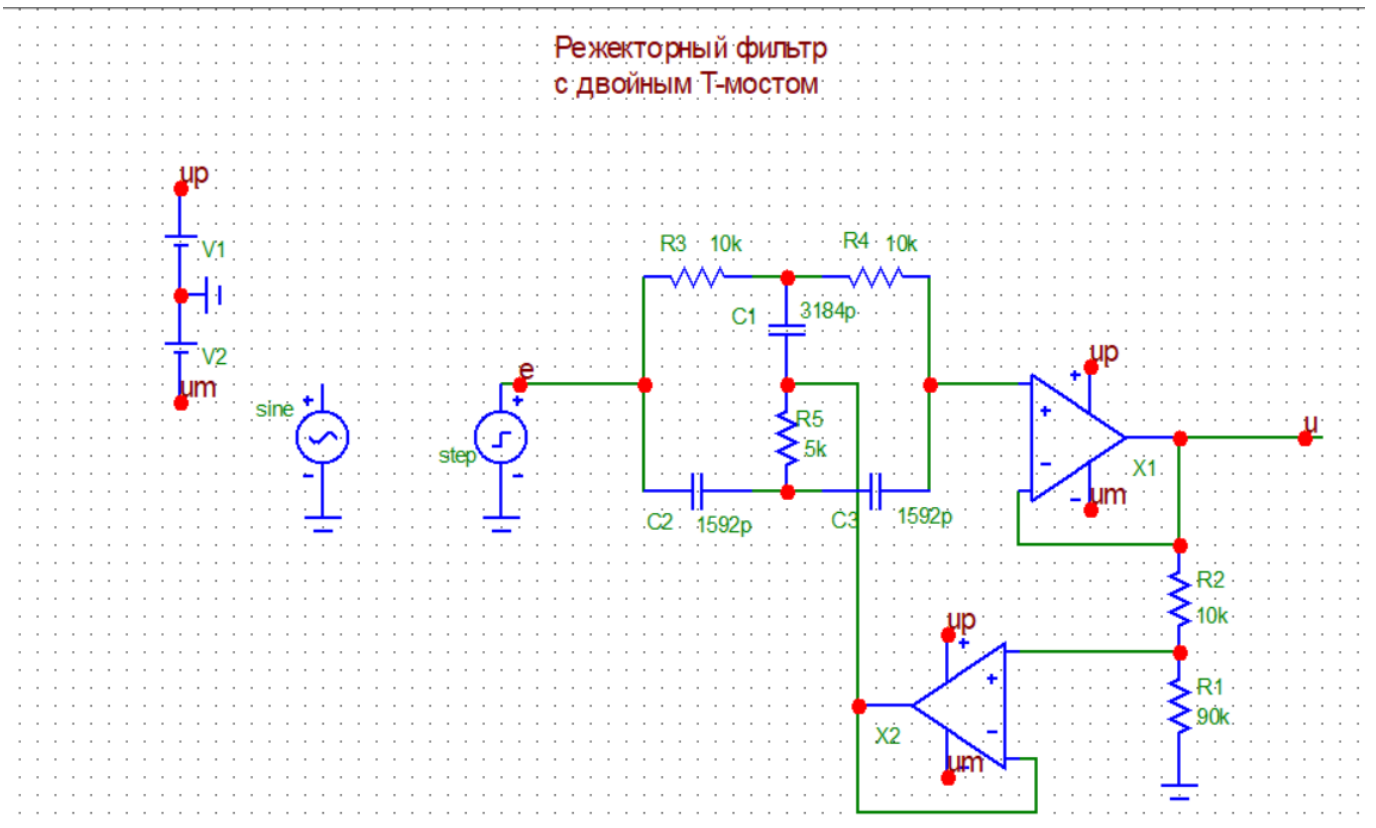


Рис. 6: Схема

Рассмотрим АЧХ и ФЧХ фильтра.

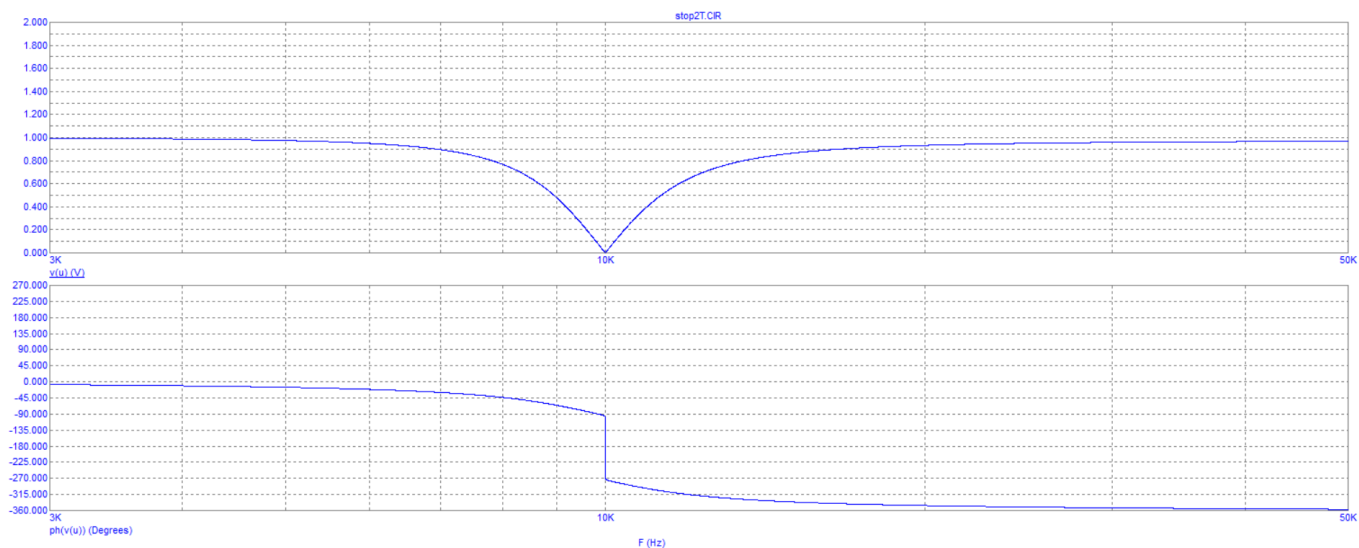


Рис. 7: АЧХ и ФЧХ

Проварьируем $R_1 = [90k, 240k|30k]$. Полоса при $R_1 = 90k$ указана на рисунке.

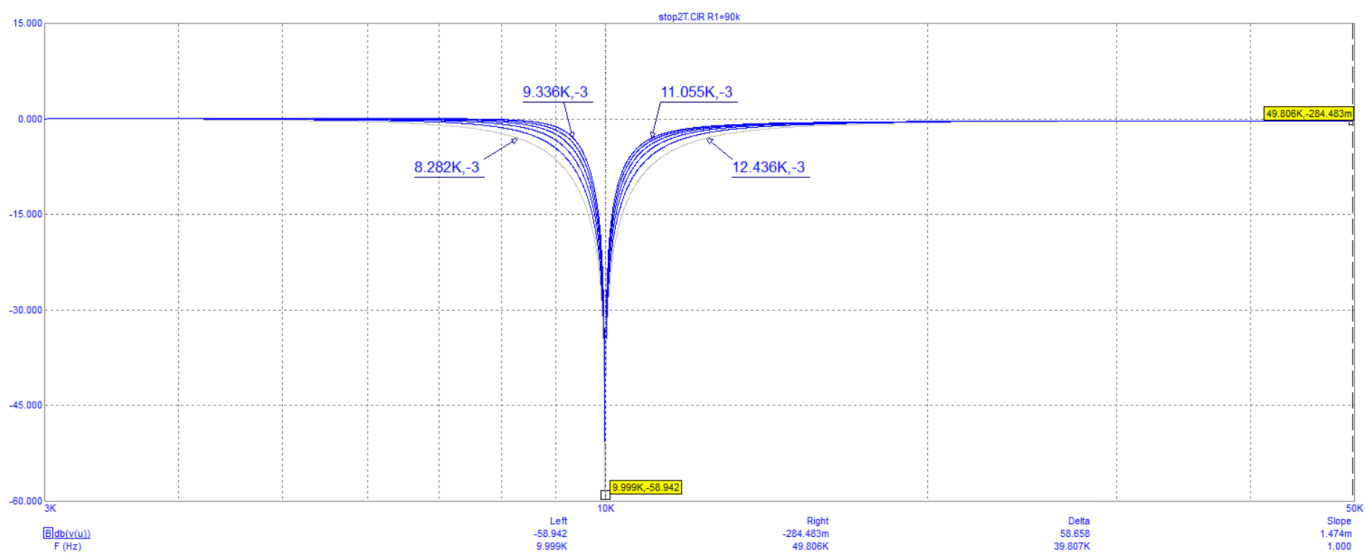


Рис. 8: АЧХ

Проварьируем $R_1 = [300k, 1500k|300k]$. Уровень выброса при $R_1 = 1500k$ указан на рисунке.

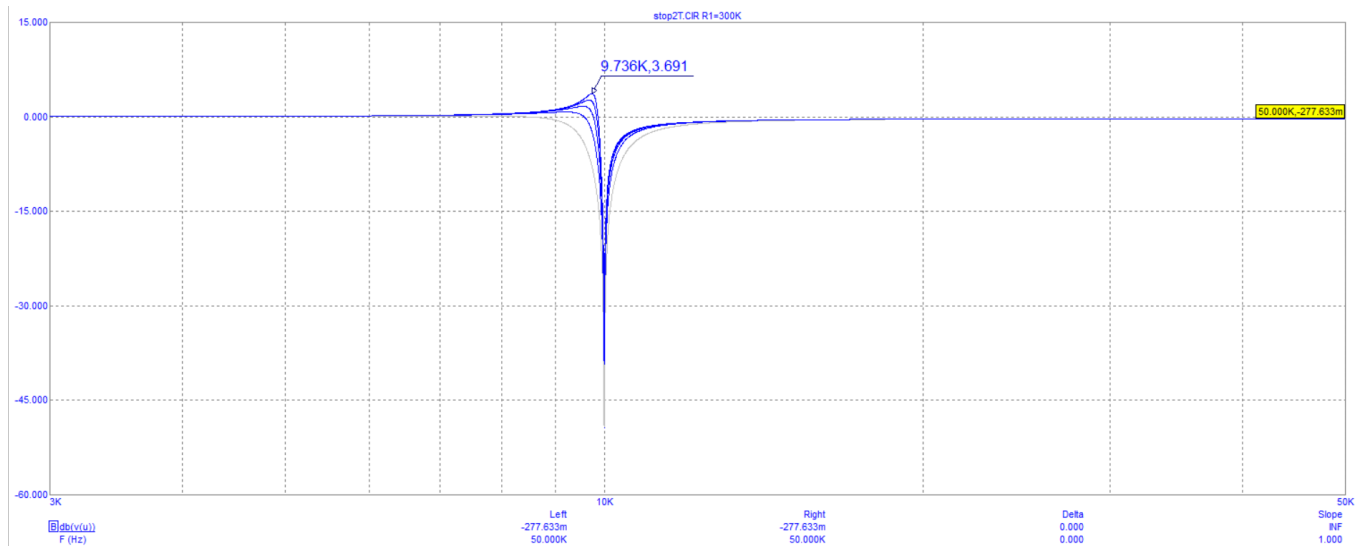


Рис. 9: АЧХ

Варьируем $R_5 = [1k, 9k|2k]$.

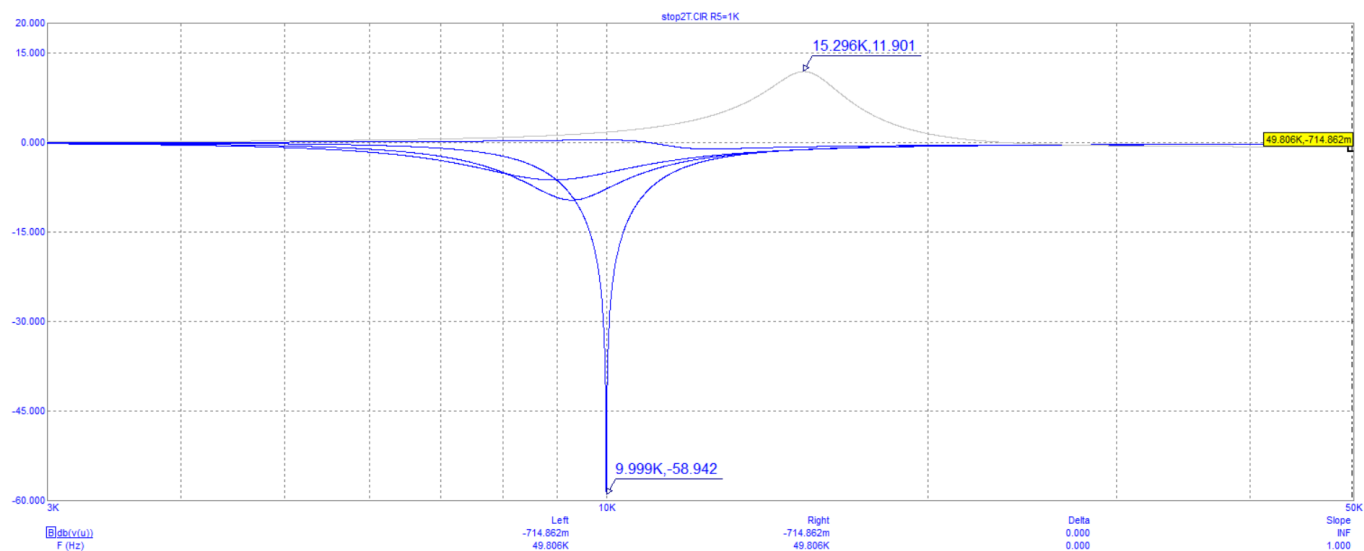


Рис. 10: АЧХ

Рассмотрим переходную характеристику фильтра. Уровни выброса и скачка в нуле указаны на рисунке.

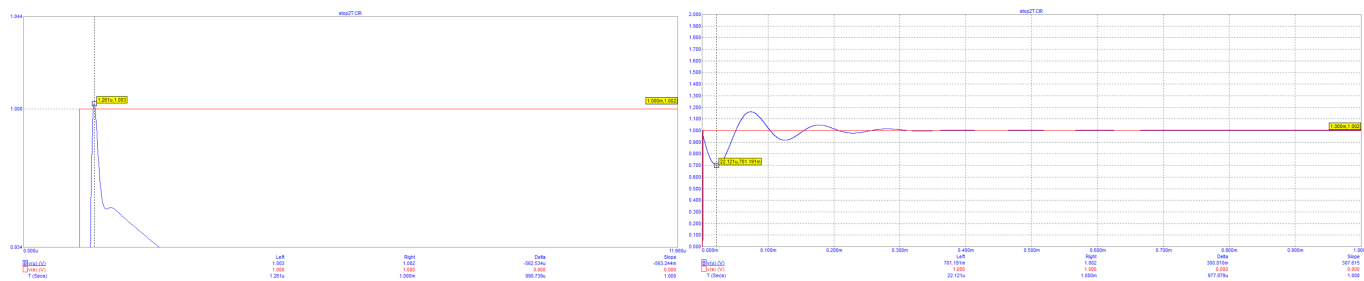


Рис. 11: Переходная характеристика режекторного фильтра

9.4 Звенья Саллена-Ки

Рассмотрим схемы звеньев Саллена-Ки с $f_0 = 10k$, $Q = 1$. В них используются неинвертирующие усилители $K = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.

При $f = f_0$ $K = 2$.

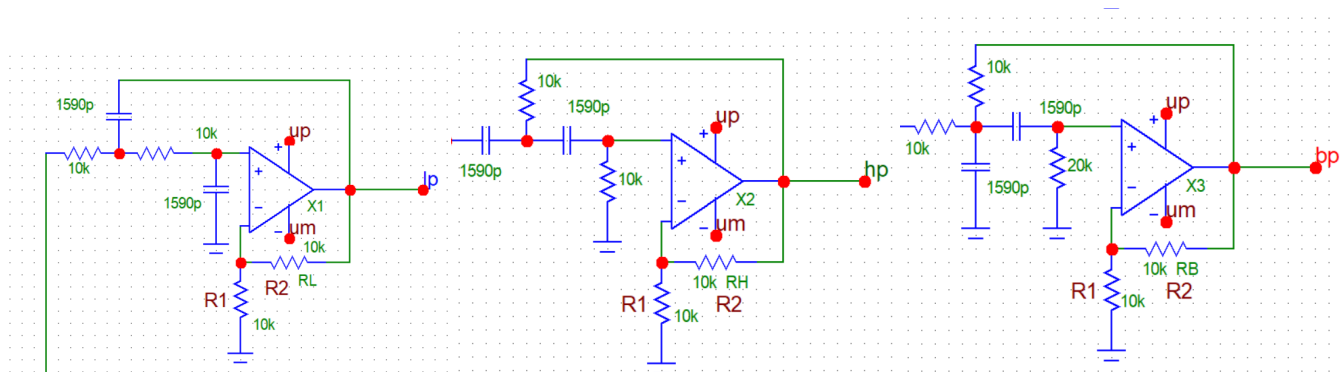


Рис. 12: Схемы

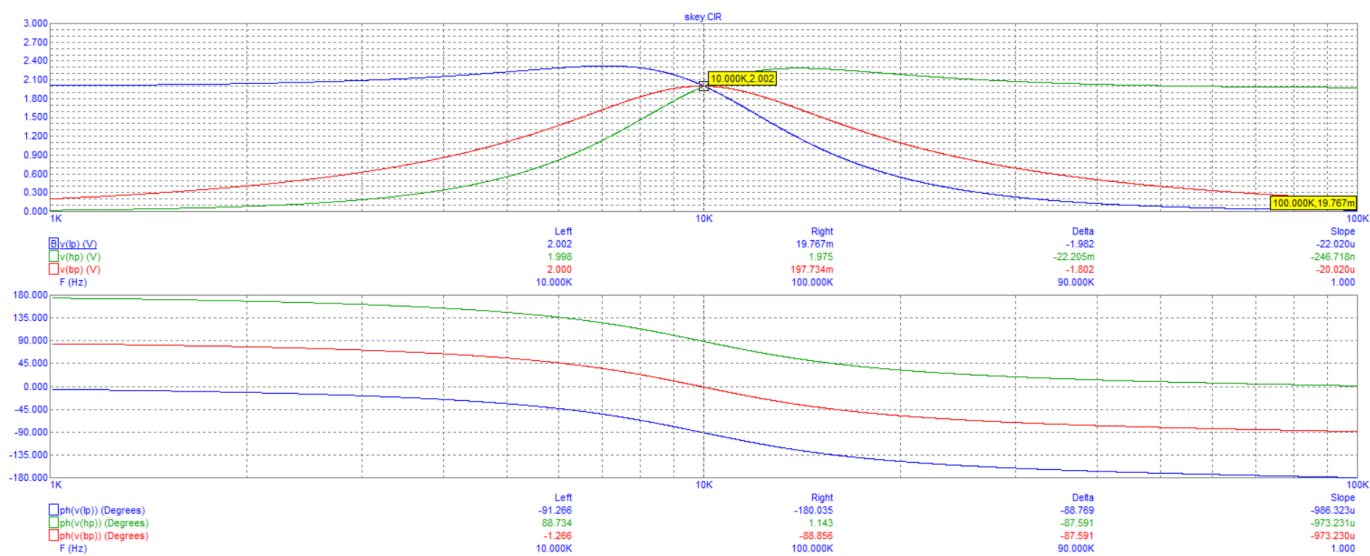


Рис. 13: АЧХ и ФЧХ звеньев Саллена-Ки

Проварьрируем $R_L, R_H, R_B = [11k, 19k|2k]$.

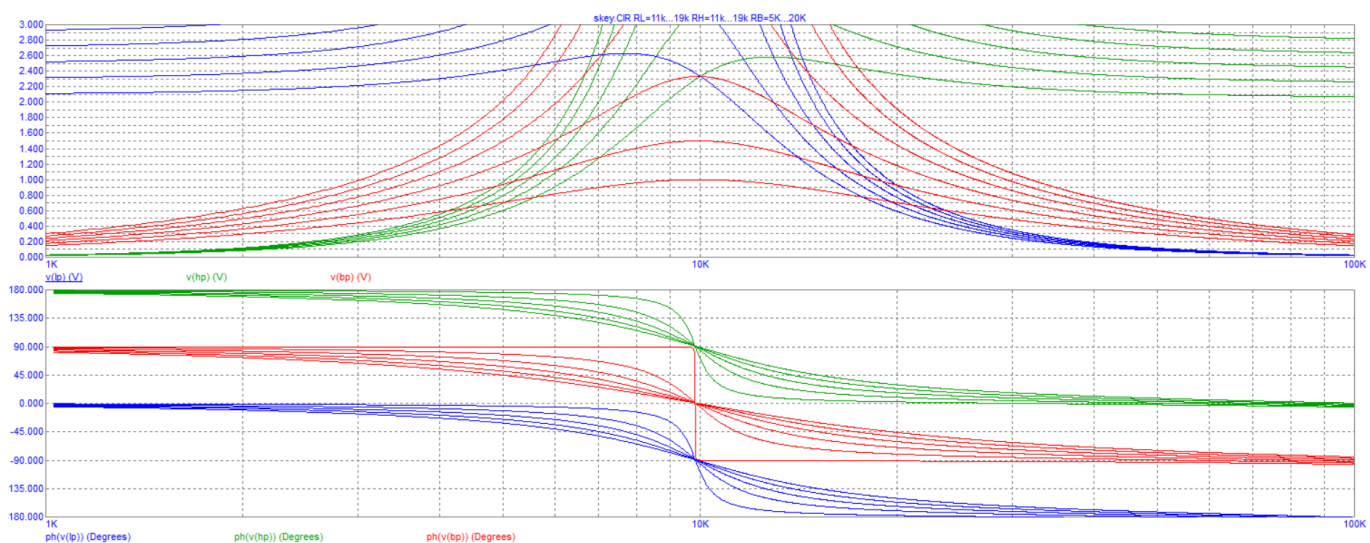


Рис. 14: АЧХ и ФЧХ звеньев Саллена-Ки

Пиковые значения усиления составляют $K_{lp} = 29.441$, $K_{hp} = 28.320$, $K_{bp} = 28.860$.

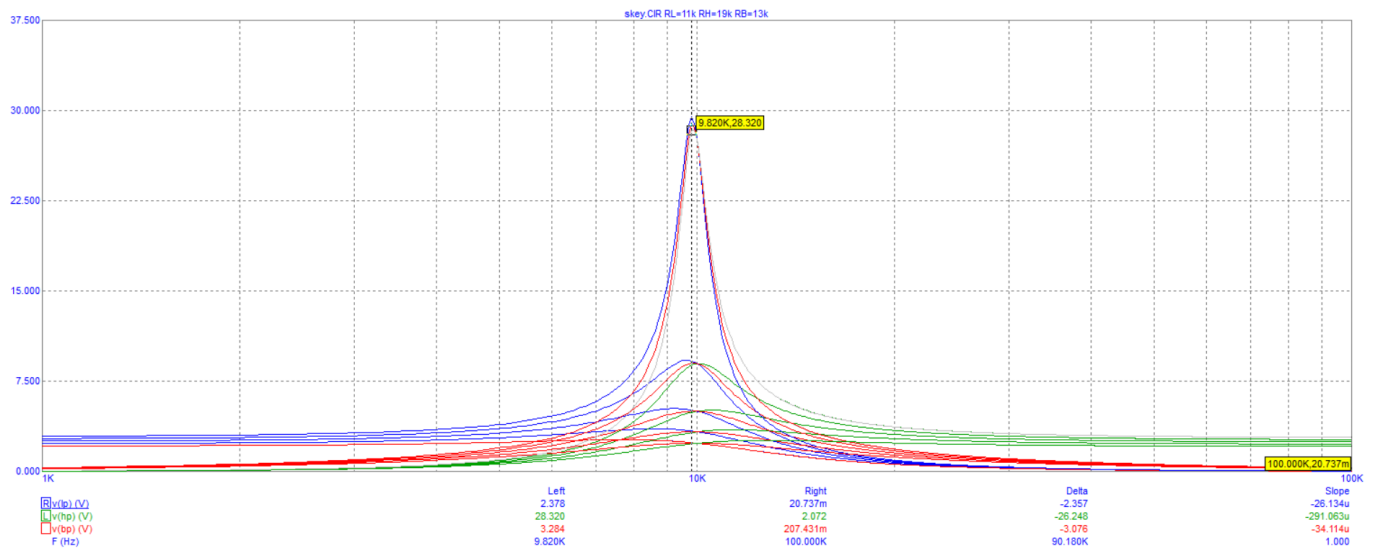


Рис. 15: АЧХ звеньев Саллена-Ки

Переходная характеристика звеньев:

- Звено низких частот имеет нулевую производную в нуле, а также устанавливается в ненулевом положении.
- Звено высоких частот имеет скачок в нуле и стремится к нулю с течением времени.
- Полосовой фильтр не имеет скачка в нуле и стремится к нулю с течением времени.

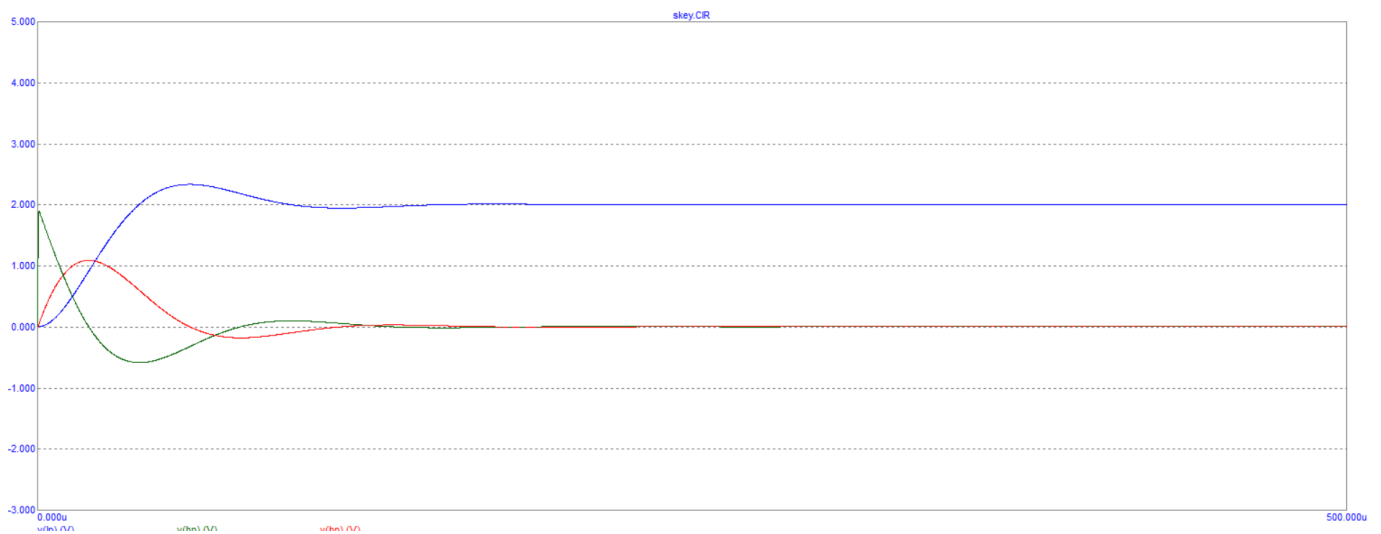


Рис. 16: Переходная характеристика звеньев Саллена-Ки

Проварьируем $R_L, R_H, R_B = [11k, 19k|2k]$.

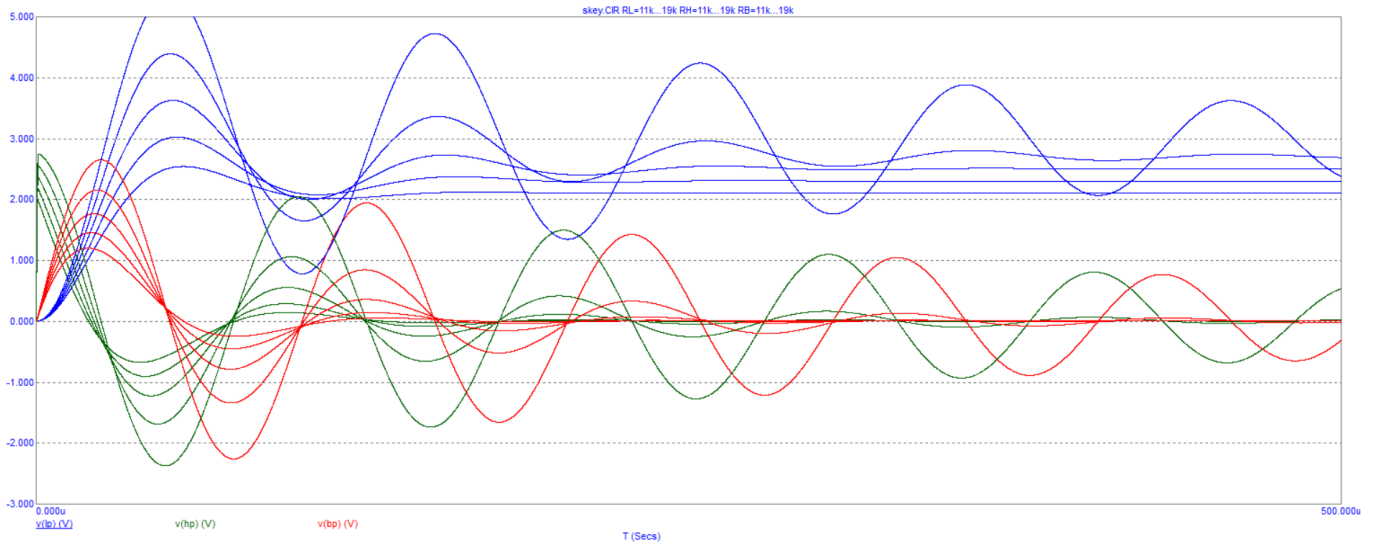


Рис. 17: Переходная характеристика при варьировании

Изучим ФВЧ и ФНЧ Баттерворта $n = 3$ на $f_0 = 10k$. Одиночные вещественные полюсы реализованы интегрирующей и дифференцирующей цепочками. Сопряженные пары – звеньями Саллена-Ки с добротностью $Q = 1$.

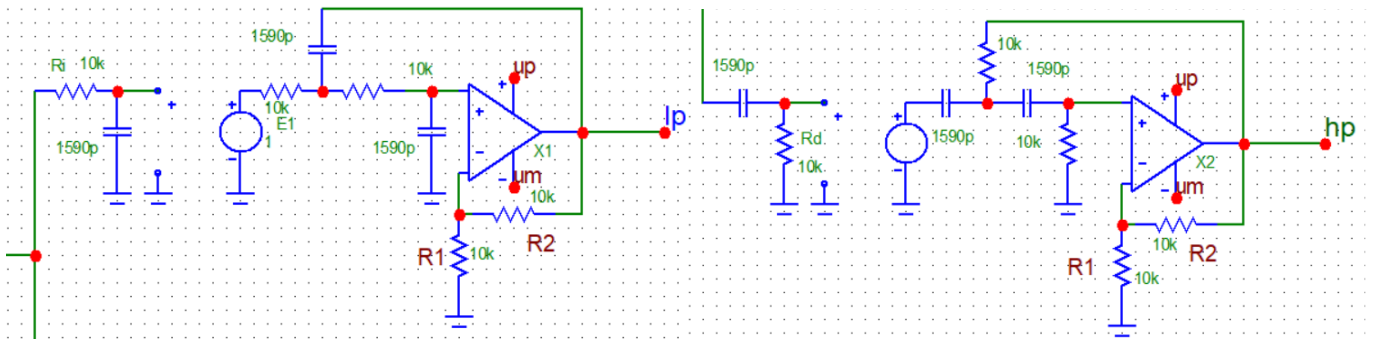


Рис. 18: Схемы

Затухание составляет 60 dB/декаду.

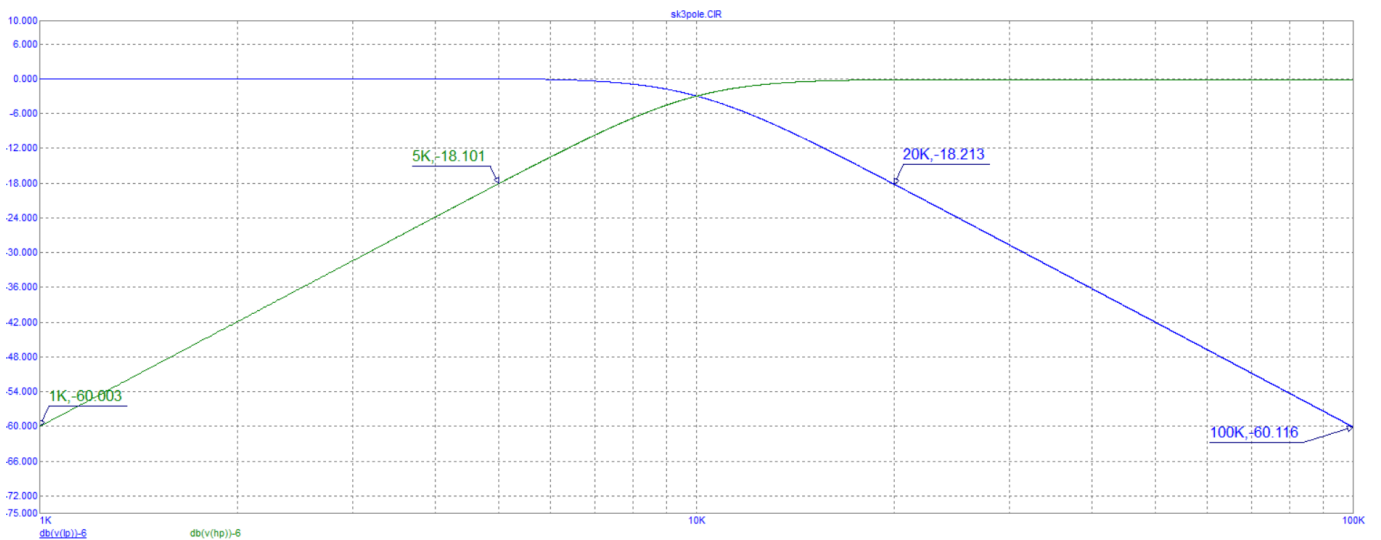


Рис. 19: АЧХ фильтров Баттерворта

Преобразуем схемы в фильтры Чебышева с $\varepsilon = 1$. Параметры ФНЧ $[\nu_0 = 0.298, (\nu, Q) = (0.916, 3.073)]$, ФВЧ $[\nu_0 = 3.355, (\nu, Q) = (1.092, 3.073)]$ получим из *MatLab*.

Рассчитаем $R_i = \frac{10k}{\nu_0} = 33.5k$, $R_d = \frac{10k}{\nu_0} = 2.98k$. Установим оба резистора фильтра Саллена-Ки $R = \frac{10k}{\nu} = 10.9k$, $R = \frac{10k}{\nu} = 9.2k$. Добротность подстроим резисторами R_1, R_2 : $R_2 = R_1(2 - \frac{1}{Q}) = 16.7k$.

Затухание составляет 62.5 dB/декаду.

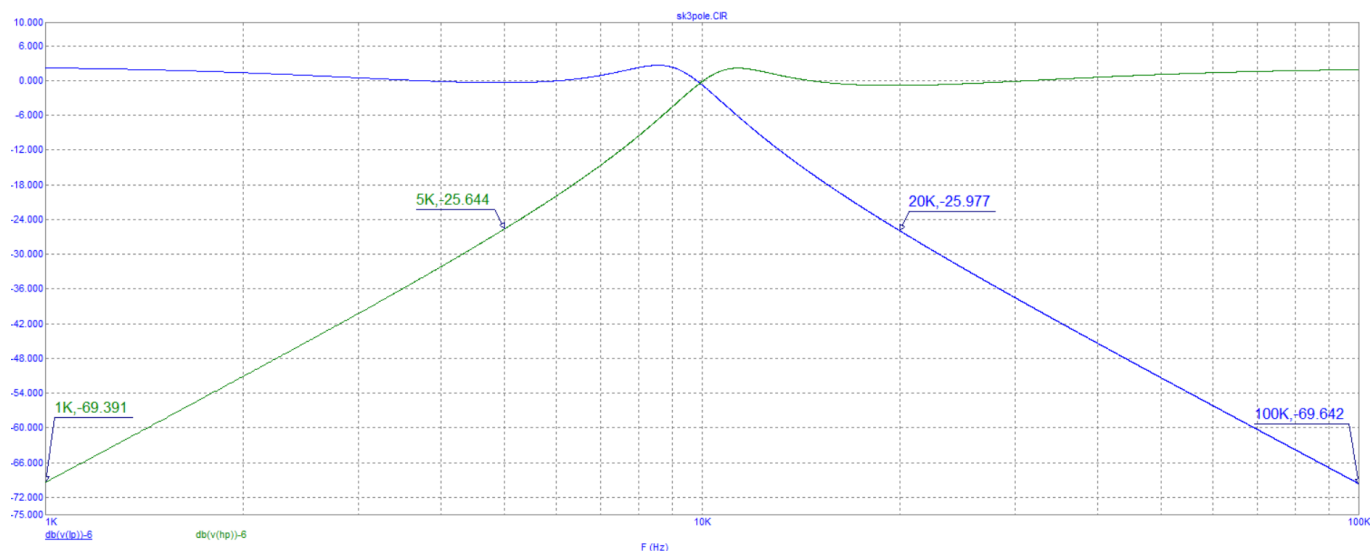


Рис. 20: АЧХ фильтров Чебышева

Построим также фильтр Чебышева второго порядка с $f_0 = 10k$, $\varepsilon = 1$, $Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 6$.

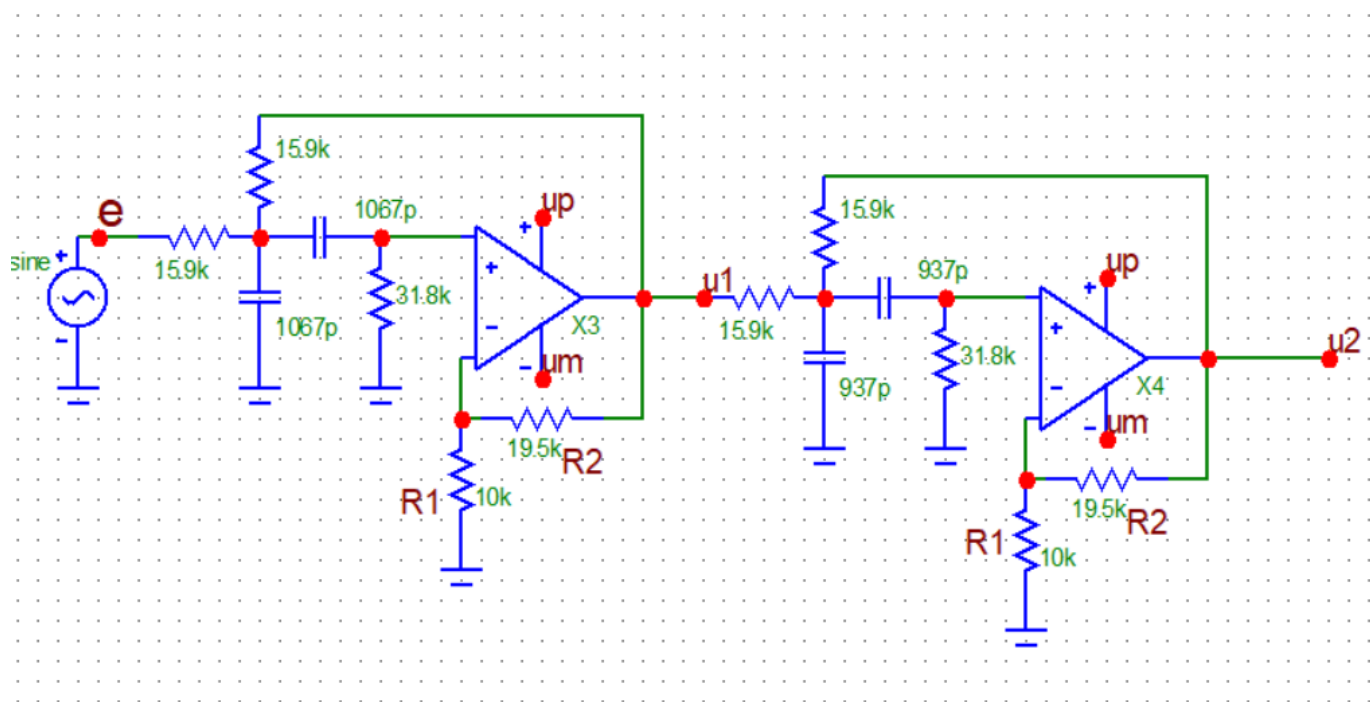


Рис. 21: Схема

Как видно из АЧХ, ширина полосы $\Delta f = 1.65k$, значения затухания указаны на рисунке.

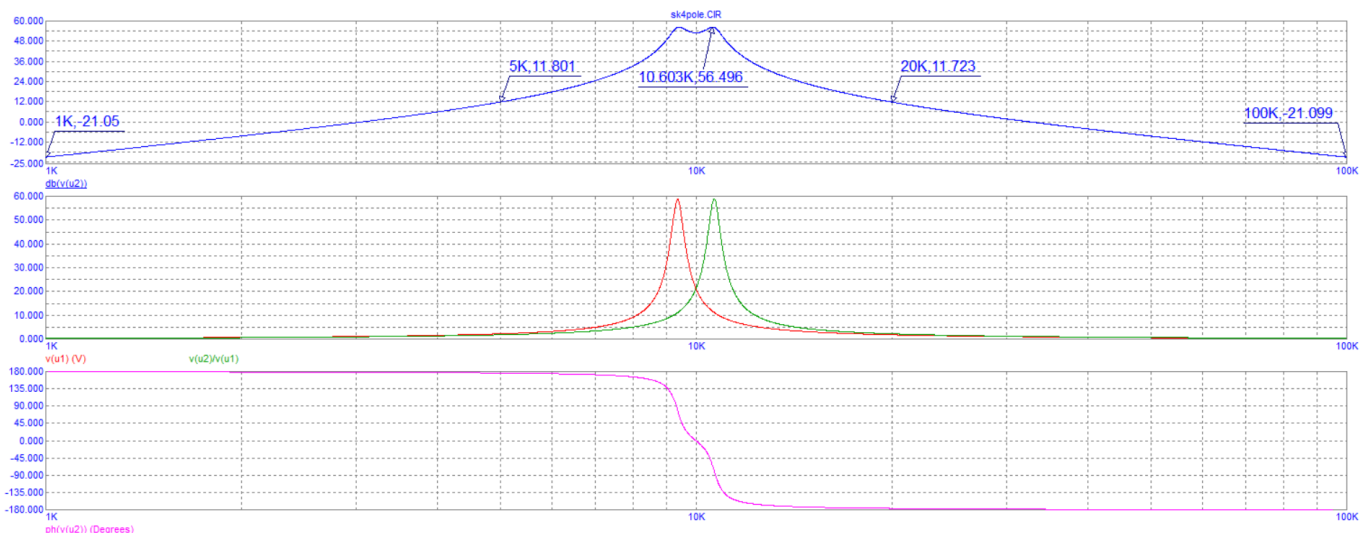


Рис. 22: Частотные характеристики

9.5 Звенья с двойной обратной связью

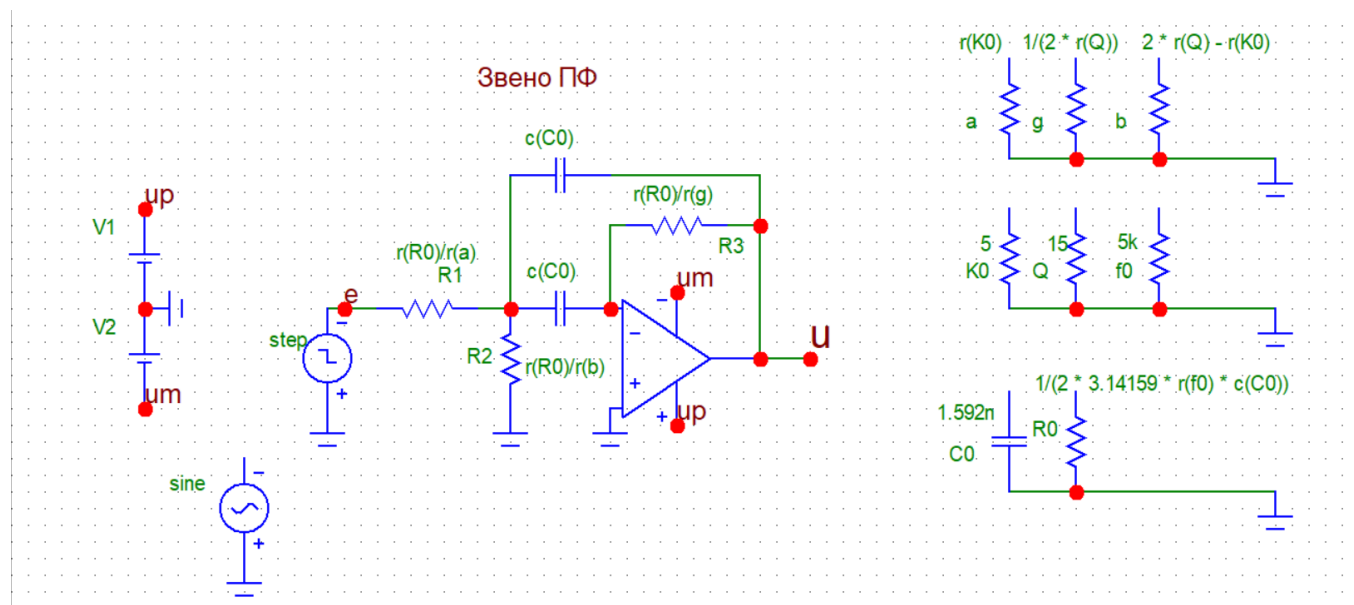


Рис. 23: Схема

Сделаем полосовой фильтр с двойной обратной связью с параметрами $f_0 = 5k$, $K_0 = 5$, $Q = 15$.

Ожидаемая ширина полосы пропускания $\Delta f = \frac{f_0}{Q} = 330$ Гц, высота пика $K_{max} = QK_0 = 75$.

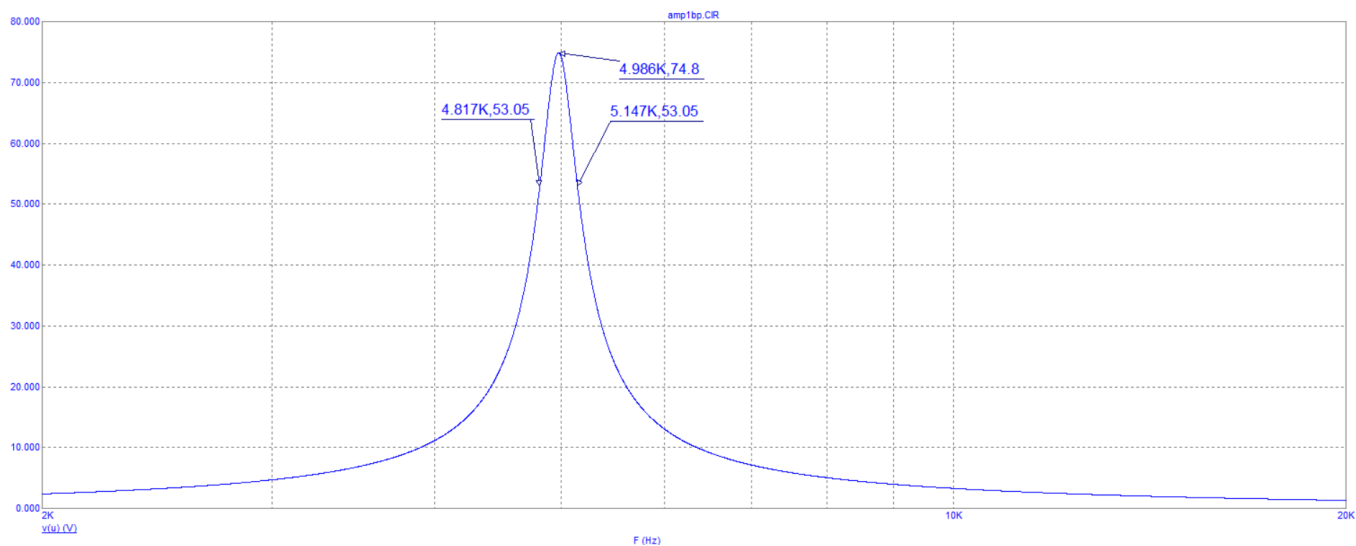


Рис. 24: АЧХ фильтра

Как видно из графика, параметры совпадают с ожидаемыми.
Проварьируем $R_2 = [100, 1.3k|200]$:

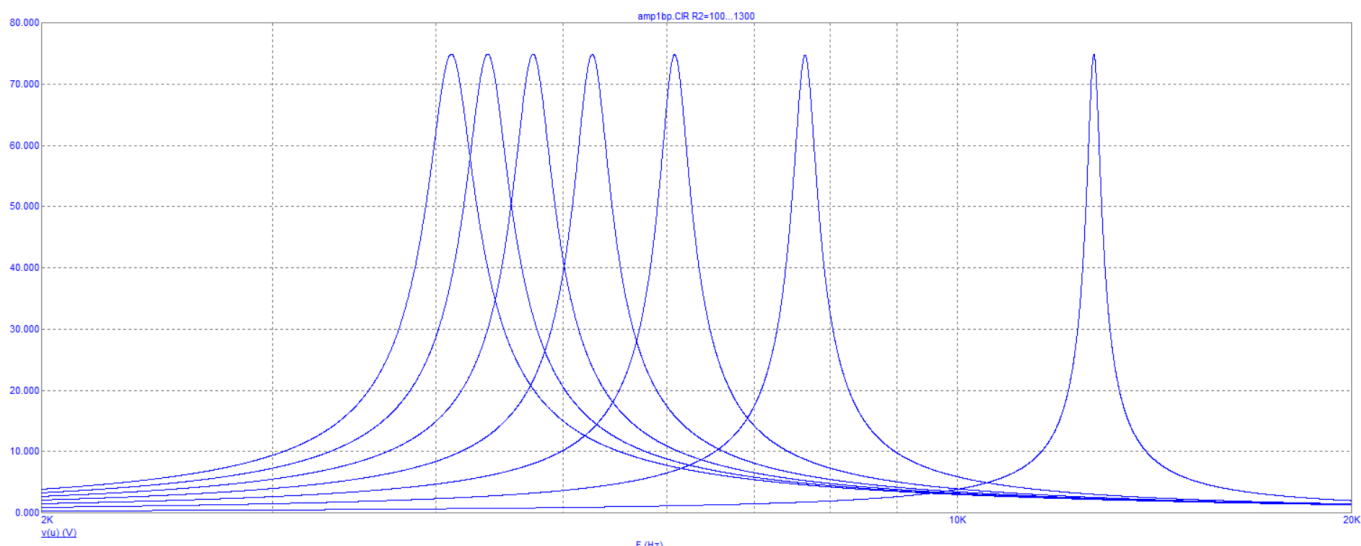


Рис. 25: АЧХ от R_2

График зависимости частоты пика от R_2 .

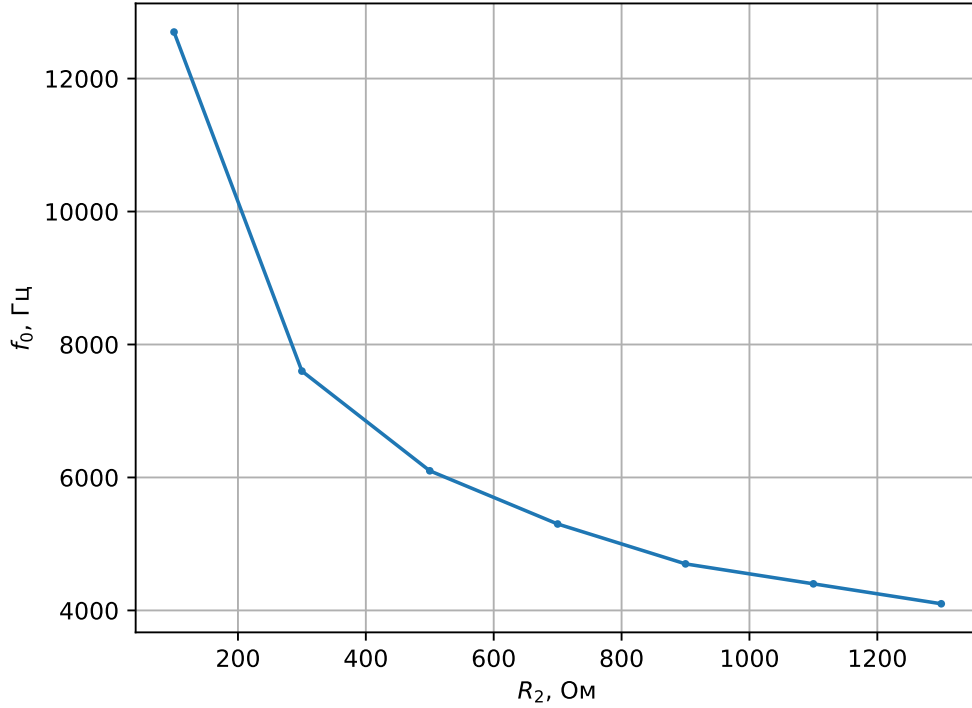


Рис. 26: АЧХ от R_2

Соберем схему на макетной плате.

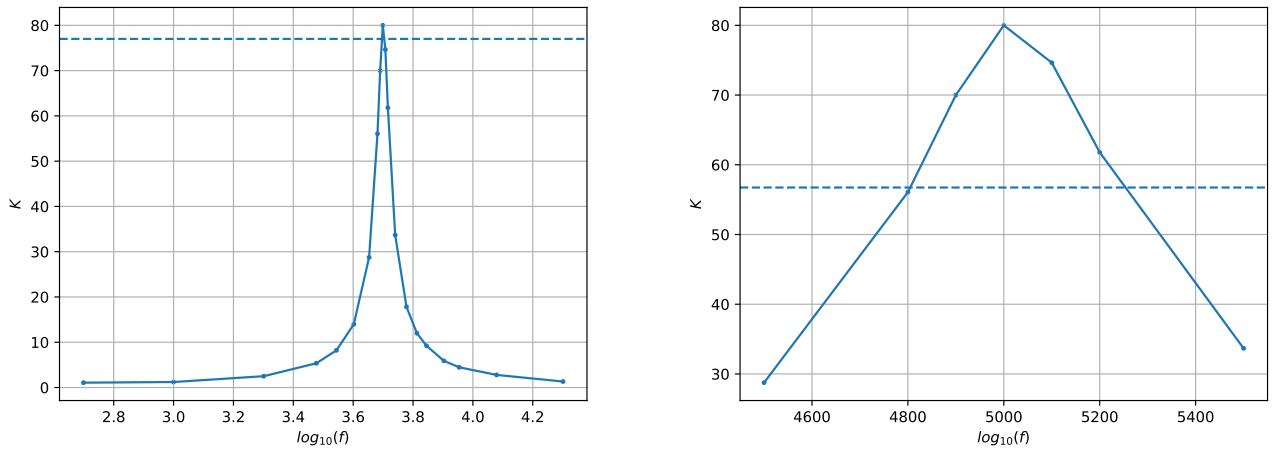


Рис. 27: АЧХ реального фильтра

Значения незначительно отклонились от ожидаемых.

Соберем полосовой фильтр Чебышева третьего порядка с параметрами $f_0 = 1k$, $\varepsilon = 1$, $Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 3$.

Для получения параметров с помощью *MatLab* получаем полюса: $(\nu_0, Q_0) = (1.0, 10.66)$, $(\nu_1, Q_1) = (0.86, 20.36)$, $(\nu_2, Q_2) = (1.162, 20.36)$. Коэффициенты усиления звеньев $K_0 = 1$.

Реализуем с помощью ФНЧ полюс (ν_1, Q_1) : $C^* = C_{\nu_1}^{\frac{1}{\nu_1}} = 10n/0.86 = 11.63n$, $aC = 3Q_1C^* = 710.36n$, $bC = \frac{C^*}{3Q_1} = 0.19n$.

С помощью ФВЧ реализуем (ν_2, Q_2) : $R^* = R/\nu_2 = 10k/1.162 = 8.61k$, $R/\alpha = \frac{R^*}{3Q_2} = 0.141k$, $R/\beta = 3Q_2R^* = 525.9k$.

Реализуем (ν_0, Q_0) с помощью ПФ: $R/\gamma = 2 * Q_0 * R = 213.2k$, $R/\beta = \frac{R}{2Q_0-1} = 0.492k$.

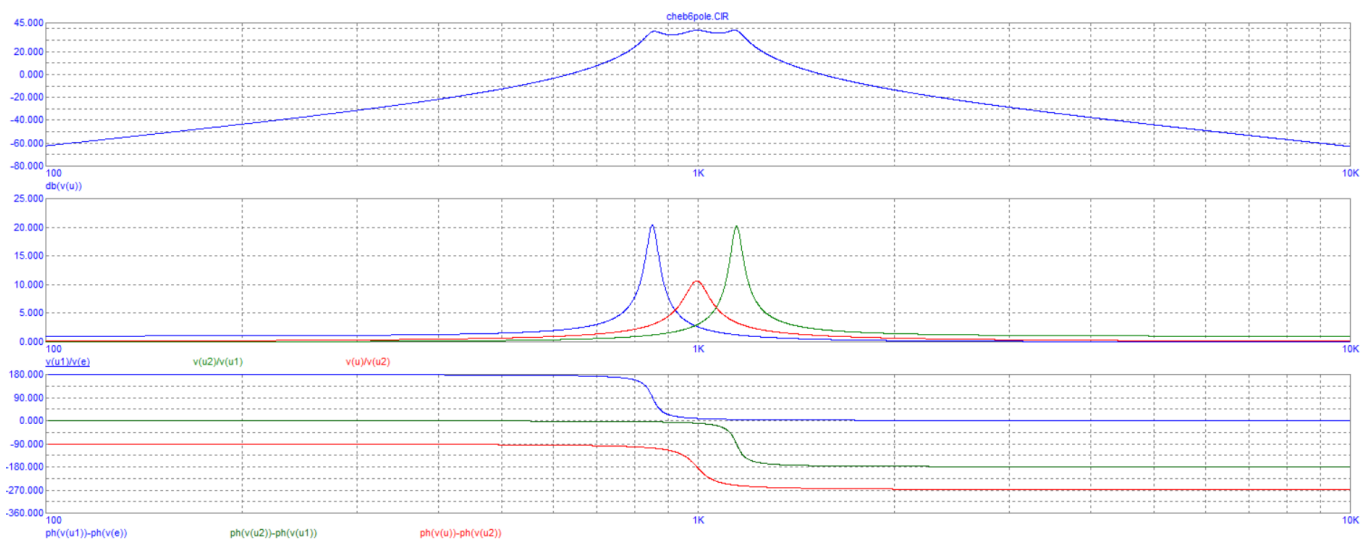


Рис. 28: Фильтр Чебышева третьего порядка

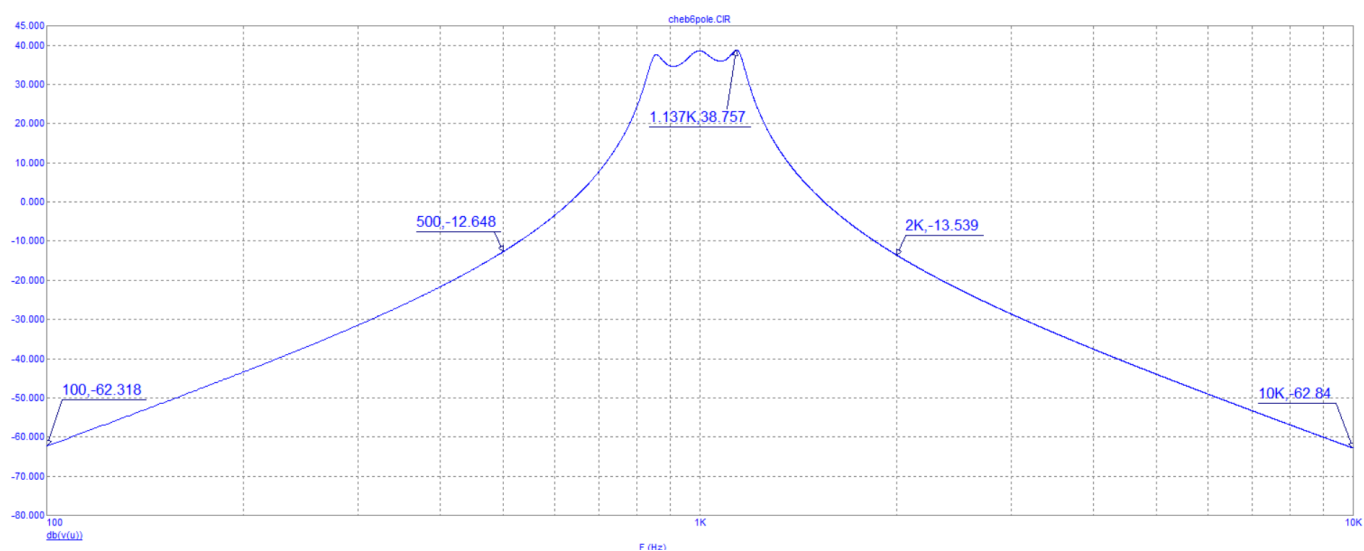


Рис. 29: АЧХ фильтра Чебышева третьего порядка