

УДК 53.084

## КОНСТРУИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ЧЕБЫШЕВА

Кузин М.М., студент гр. ИУК1-61Б, 3 курс

Научный руководитель: Никифоров Д.К., к.ф-м.н., доцент  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Калужский филиал  
г.Калуга

**Аннотация.** Изучены принципы построения активных фильтров, проведено моделирование на постоянном и переменном токе.

**Ключевые слова:** фильтр Чебышева, АЧХ, ФЧХ

Основу пассивных частотных фильтров составляют  $LC$ - или  $RC$ -цепи. Пассивные фильтры обладают существенным недостатком — их свойства зависят от нагрузки. В активных фильтрах (АФ) в качестве элемента схемы используется операционный усилитель (ОУ). Введение в схему ОУ позволяет сравнительно просто решить проблему согласования фильтра с нагрузкой, и, кроме того, появляется возможность усиления сигнала.

Потребность в АФ возникает и в тех случаях, когда необходимо отфильтровать сигнал от помех, близких по частоте, не используя при этом катушек индуктивности. Стремление исключить катушки индуктивности связано в первую очередь с их большими габаритами, особенно на низких частотах. Вместе с тем схемы АФ могут быть спроектированы на основе достаточно жестких требований к их частотным и фазовым характеристикам.

В работе был выполнен расчет схем фильтров нижних частот Чебышева порядка  $N$  с коэффициентом усиления  $K_v$ , частотой среза  $f_c$  и коэффициентом неравномерности АЧХ в полосе пропускания  $R_p$ . Исследованы с помощью программы схемотехнического моделирования Qucs-S модели фильтров со значениями сопротивлений согласно расчету и модели со значениями сопротивлений, округленными до ближайших номинальных значений.

Исходные данные:

$N$	$K_v$	$f_c$ , Гц	$R_p$ , дБ	$M$	Схема фильтра
5	1	4600	1,4	8	Схема Саллена-Ки

$$1) \quad f_c = 3000 + 200 \cdot M = 3000 + 200 \cdot 8 = 4600 \text{ Гц.}$$

$$2) \quad R_p = 3,0 - 0,2 \cdot M = 3,0 - 0,2 \cdot 8 = 1,4 \text{ дБ.}$$

Далее проведен расчет фильтра. Зная порядок фильтра найдено расположение нулей и полюсов.

$$\varepsilon = \sqrt{10^{0,1 \cdot R_p} - 1} = \sqrt{10^{0,1 \cdot 1,4} - 1} = 0,617;$$
$$p_i = \sigma_i + j\omega_i, i = \overline{1,5};$$

$$\sigma_i = -\sin\left(\frac{(2i-1)\pi}{2N}\right) \sinh\left[\frac{1}{N} \sinh^{-1}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\right];$$

$$\omega_i = \cos\left(\frac{(2i-1)\pi}{2N}\right) \cosh\left[\frac{1}{N} \sinh^{-1}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\right];$$

$$p_1 = -0,0787 + j0,981;$$

$$p_2 = -0,206 + j0,607;$$

$$p_3 = -0,255;$$

$$p_4 = -0,206 - j0,607;$$

$$p_5 = -0,0787 - j0,981.$$

Определено число звеньев 2-го и 1-го порядка.

Порядок фильтра определяет число звеньев фильтра и сложность схемы фильтра. Активный фильтр состоит из  $k = [N/2] = 2$  с звеньев 2-го порядка и  $l = [N \bmod 2] = 1$  звеньев первого порядка.

Найдены коэффициенты  $B_i$  и  $C_i$  для каждого звена 2-го порядка, зная комплексно-сопряжённые пары полюсов, полученные на предыдущем шаге.

$$B_i = -2\sigma_{p_i};$$

$$C_i = \sigma_{p_i}^2 + \omega_{p_i}^2.$$

Корень	$p_1$	$p_2$	$p_4$	$p_5$
$B_i$	0,157	0,412	0,412	0,157
$C_i$	0,969	0,411	0,411	0,969

Для звена первого порядка коэффициент  $C_N = -\sigma_N$ ,  $C_N = 0,255$ .  
Рассчитаны значения  $RC$ -элементов звеньев 2-го порядка.

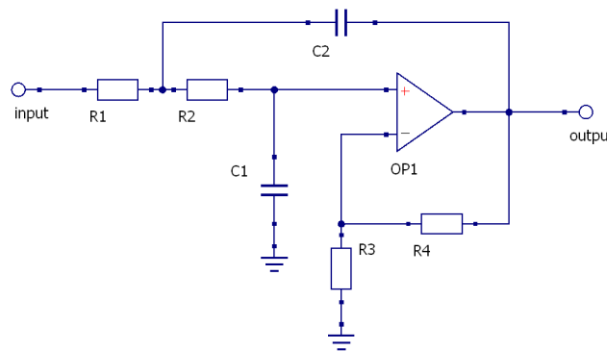


Рис.1. Звено ФНЧ второго порядка Саллена-Ки

$$C_2 = \frac{10}{4600} = 2,174 \text{ нФ.}$$

Для первого звена второго порядка:  $C_1 \leq \frac{0,157^2 \cdot 2,174}{4 \cdot 0,969} = 0,0138 \text{ нФ};$   
 $10^9$

$$R_1 = \frac{1}{4600\pi \left[ 0,157 \cdot 2,174 + \sqrt{0,157^2 \cdot 2,174^2 - 4 \cdot 0,969 \cdot 0,0138 \cdot 2,174} \right]} =$$

$$= 1,94 \cdot 10^5 \text{ Ом} = 194 \text{ кОм};$$

$$R_2 = \frac{1}{0,969 \cdot 0,0138 \cdot 2,174 \cdot 1,94 \cdot 10^{-13} \cdot (2\pi \cdot 4600)^2} = 212 \text{ кОм.}$$

Для единичного коэффициента усиления  $K_v = 1$ ,  $R_3$  нужно удалить и заменить перемычкой  $R_4$ .

Для второго звена второго порядка:

$$C_1 \leq \frac{0,412^2 \cdot 2,174}{4 \cdot 0,411 \cdot 10^9} = 0,224 \text{ нФ};$$

$$R_1 = \frac{1}{4600\pi \left[ 0,412 \cdot 2,174 + \sqrt{0,412^2 \cdot 2,174^2 - 4 \cdot 0,411 \cdot 0,224 \cdot 2,174} \right]} = 7,39 \cdot 10^4 \text{ Ом} = 73,9 \text{ кОм};$$

$$R_2 = \frac{1}{0,411 \cdot 0,224 \cdot 2,174 \cdot 7,39 \cdot 10^{-14} \cdot (2\pi \cdot 4600)^2} = 80,9 \text{ кОм}.$$

Для единичного коэффициента усиления  $K_v = 1$ ,  $R_3$  нужно удалить и заменить перемычкой  $R_4$ .

Для фильтра нечётного порядка рассчитано звено первого порядка.

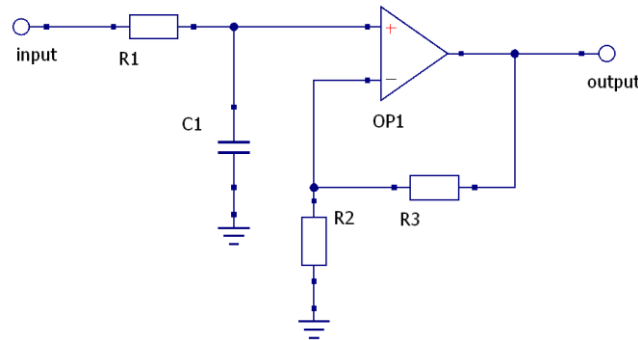


Рис.2. Звено активного ФНЧ первого порядка

$$C_1 = \frac{10}{f_c} = \frac{10}{4600} = 2,174 \text{ нФ}.$$

$$R_1 = \frac{1}{\omega_c C_N C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 4600 \cdot 0,255 \cdot 2,174 \cdot 10^{-9}} = 62,4 \text{ кОм}.$$

Для единичного коэффициента усиления  $K_v = 1$  получаем  $R_3 = 0$  и  $R_2 = \infty$ . В таком случае  $R_2$  может быть удалён, а  $R_3$  заменён перемычкой.

Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ активных фильтров

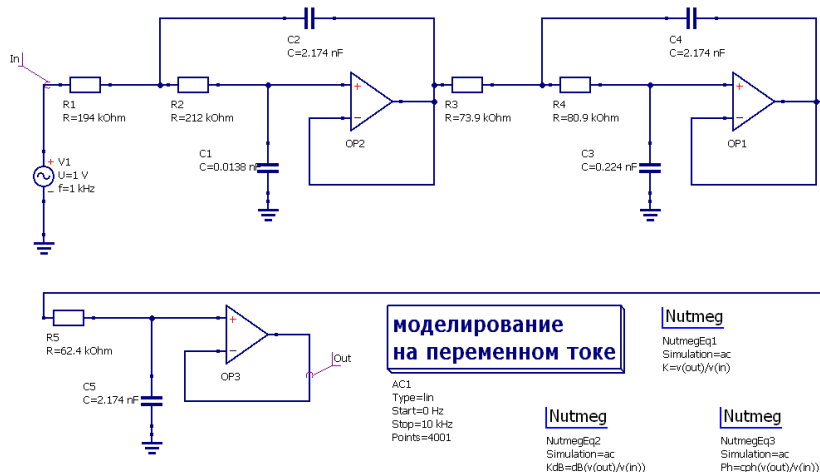


Рис.3. Фильтр Чебышева с расчётными значениями сопротивлений

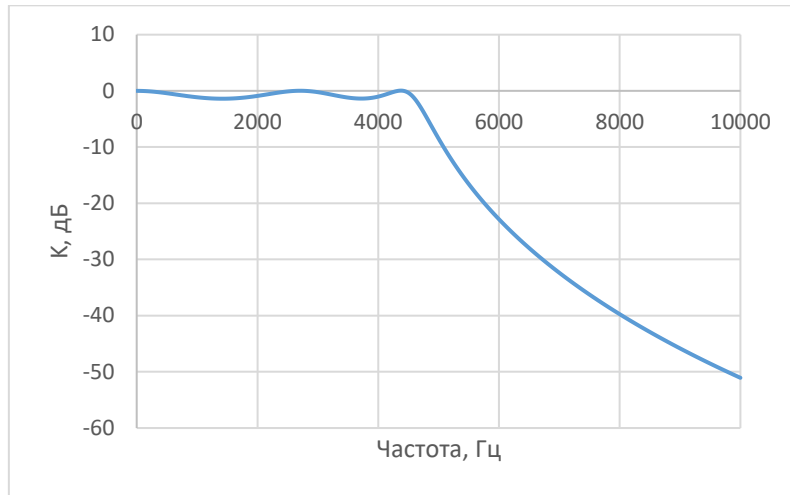


Рис.4. АЧХ фильтра Чебышева с расчётными значениями сопротивлений

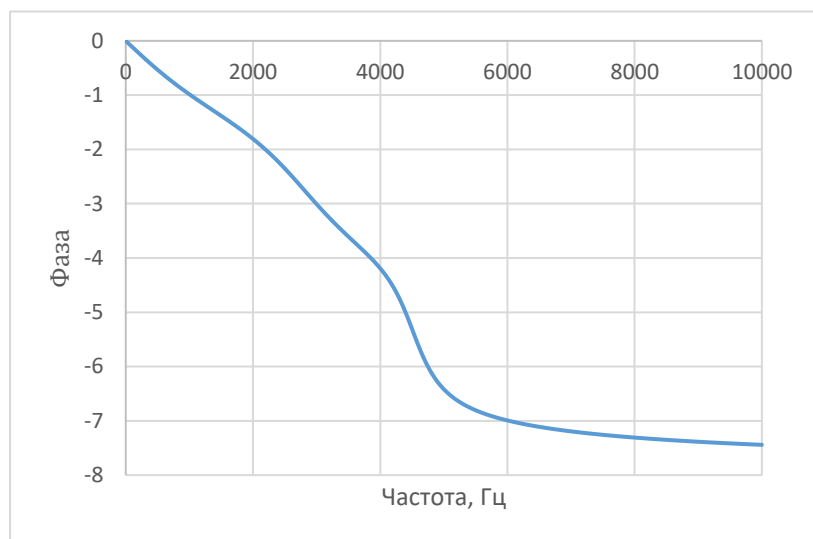


Рис. 5. ФЧХ фильтра Чебышева с расчётными значениями сопротивлений

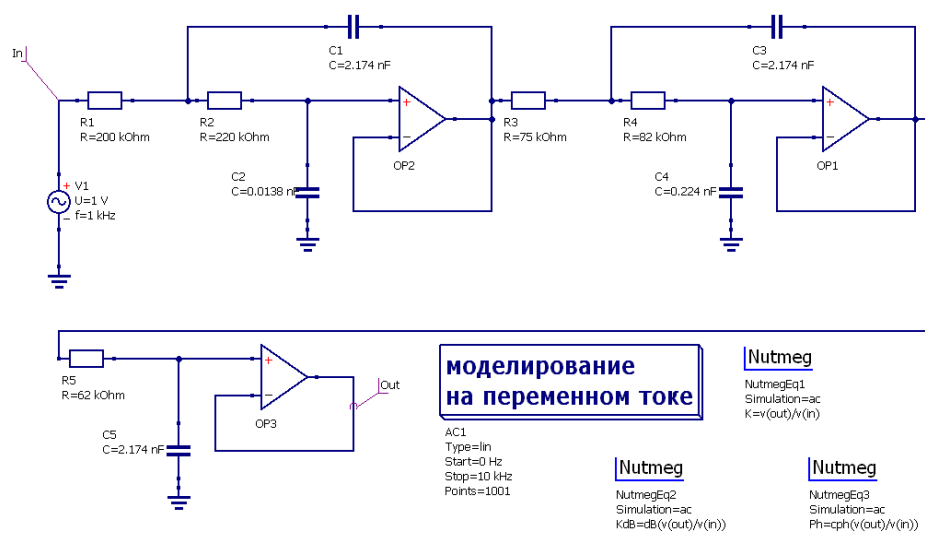


Рис.6. Фильтр Чебышева с округленными значениями сопротивлений

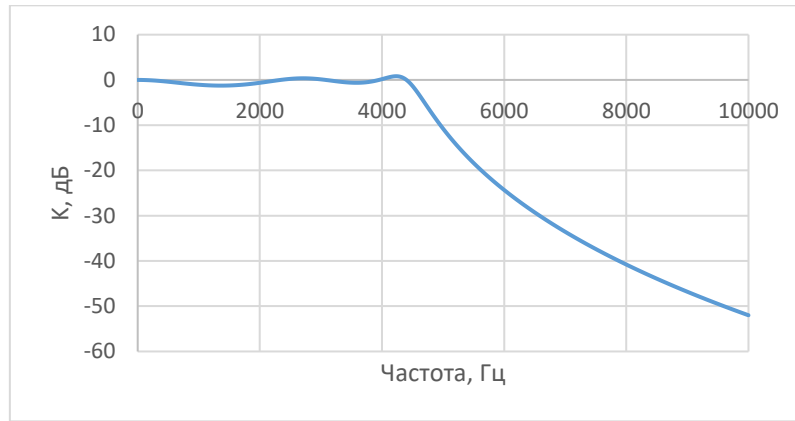


Рис.7. АЧХ фильтра Чебышева с округленными значениями сопротивлений

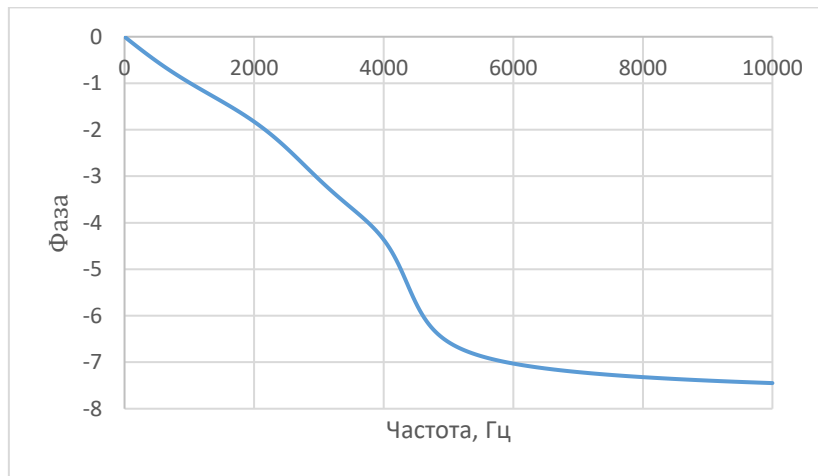


Рис.8. ФЧХ фильтра Чебышева с округленными значениями сопротивлений

Для фильтра Чебышева с расчётными значениями сопротивлений проведено моделирование переходной характеристики.

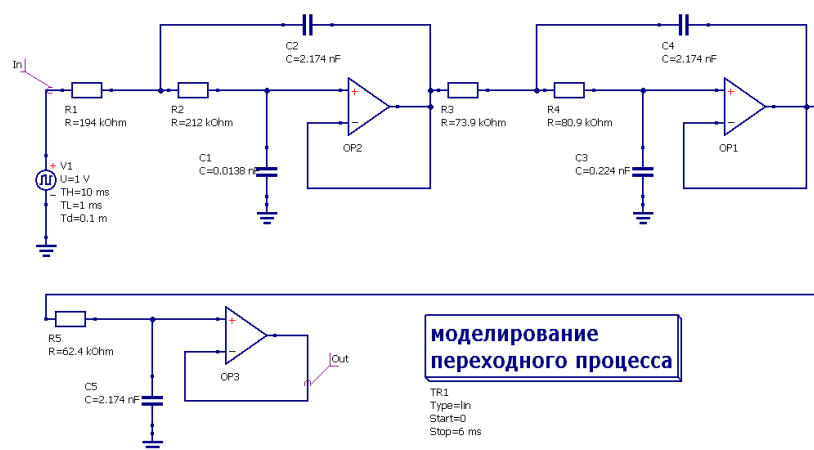


Рис.9. Фильтр Чебышева с расчётными значениями сопротивлений

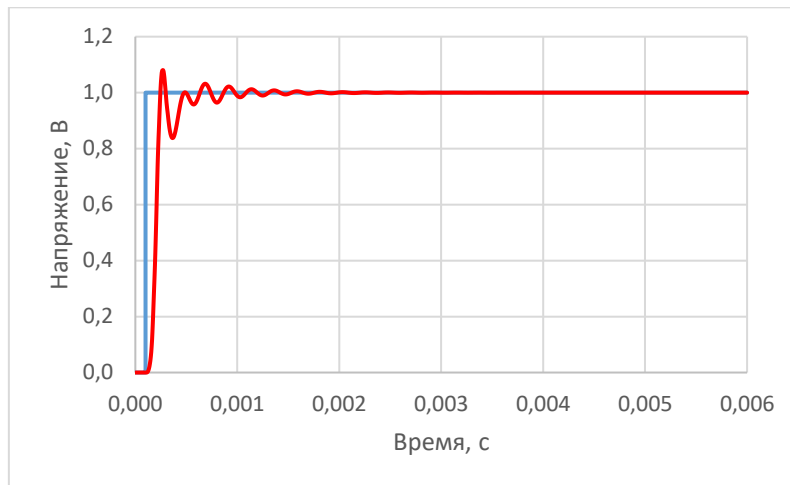


Рис.10. Переходная характеристика фильтра Чебышева с расчётными значениями сопротивлений: входное напряжение (синяя линия) и выходное напряжение (красная линия)

По результатам исследования моделей с точными и с округленными значениями сопротивлений можно заключить, что необходимость использования подстроечных резисторов для получения необходимых АЧХ фильтра Чебышева не оправдана, т.к. сравнивая две полученные АЧХ, можно увидеть, что фильтр с подстроечными резисторами не дает заметных изменений в АЧХ по сравнению с фильтром с расчетными резисторами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров: Пер. с англ. - М.: Мир, 1984 - 320 с.