

Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Работа 19

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

Цель работы:

Изучение работы методов активных фильтров.

В работе используются:

Программа MicroCap10.

1 Звенья первого порядка

1. Откроем в Micro-Cap модель **zpole.cir** пропорционально интегрирующей и дифференцирующей цепей с полюсом в точке $s = \frac{p}{\omega_0} = -1$, $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 10k$ и нулями в точках $s = -2$ и $s = -\frac{1}{2}$. Измерим уровни подавления на частоте f_0 и в полосах задержания:

$$K_{f_0} = 0,79$$

В полосах задержания : $K = 0,5$

Оценим положения и уровни экстремумов фазовых характеристик:

Дифференцирующая : $max = 19,5^\circ$

Интегрирующая : $min = -19,5^\circ$

2. Изменим номиналы резисторов в схемах так, чтобы сохранив положения полюсов, переместить нули в точки $s = -4$, $s = -\frac{1}{4}$. Измерим уровни подавления на частоте f_0 и в полосах задержания:

$$K_{f_0} = 0,73$$

В полосах задержания : $K = 0,25$

Оценим положения и уровни экстремумов фазовых характеристик:

Дифференцирующая : $max = 36,9^\circ$

Интегрирующая : $min = -36,9^\circ$

3. Откроем модель **integrator.cir** реального интегратора с частотой единичного усиления $f_1 = 10k$ и усилением $K = \frac{R_K}{R}$. Варьируя резистор $R_K = [20k, 640k|log2]$, изучим поведение нормированных частотных и фазовых характеристик:
4. Подключив источник *step* единичного интегратора $h_0(t/\tau_1)$, $\tau_1 = RC = 15.92\mu$, варьируя $R_K = [20k, 640k|log2]$. Оценим значения ошибок интегрирования в точках $\frac{t}{\tau_1} = \frac{K}{2}$:

$\sigma, \%$	18	19	19,5	19,7	20	20
K	2	4	8	16	32	64

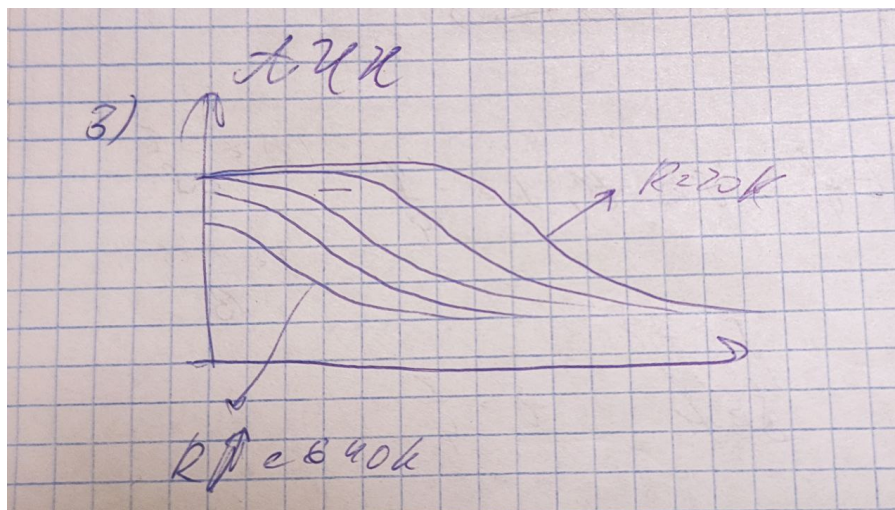


Рис. 1: Амплитудно частотная характеристика

2 Активные звенья с двойным Т-мостом

1. Откроем модель полосового фильтра **pass2T.cir** с $f_0 = 10k$, $K_0 = 20$. Изучим его частотную и фазовую характеристики. Измерим усиление на частоте f_0 и полосу Δf по уровню $-3dB$:

$$K = 7,5 \quad \Delta f = 1,9 \text{ кГц}$$

Снимем зависимость усиления и ширины полосы от $R_2 = [20k, 100k|20k]$:

R_2, k	20	40	60	80	100
K	7,5	14,6	21,8	28,9	36,1

2. Изучим поведение фильтра при разбалансировании моста с варьированием $R_5 = [1.5k, 5.5k|500]$. Оценим значение R_5 при котором пиковое усиление достигает максимума:

$$R_5 = 3k$$

3. Изучим переходную характеристику фильтра. Измерим уровни скачка в нуле и первого выброса:

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

$$U_1 = 4,28 \text{ В}$$

Проследим за ее изменением при варьировании $R_5 = [5.0k, 2.5k|500]$ и оценим значение R_5 , при котором фильтр теряет устойчивость:

$$R_5 = 3k$$

4. Откроем модель режекторного фильтра **stop2T.cir** с $f_0 = 10k$, $\gamma = 0.1$. Изучим его частотную и фазовую характеристику. Измерить ширину полосы режекции Δf по уровню $-3dB$:

$$\Delta f = 4k$$

Изучим ее поведение при варьировании $R_1 = [90k, 240k|30k]$ и $R_1 = [300k, 1500k|300k]$:

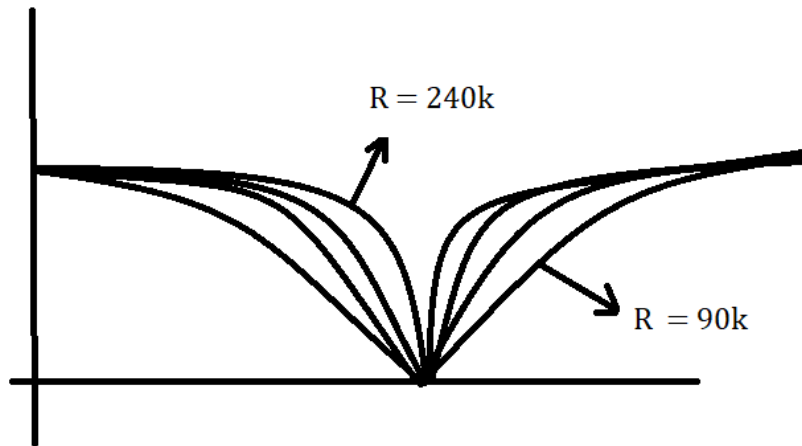


Рис. 2: $R_1 = [90k, 240k|30k]$

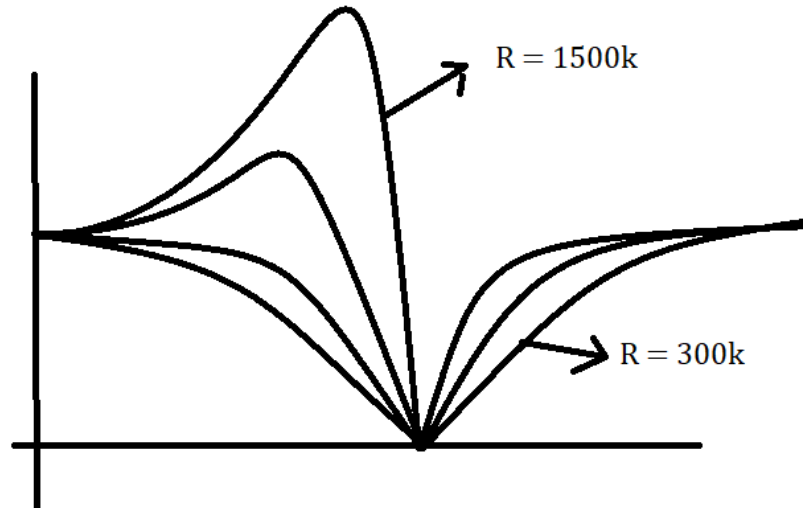
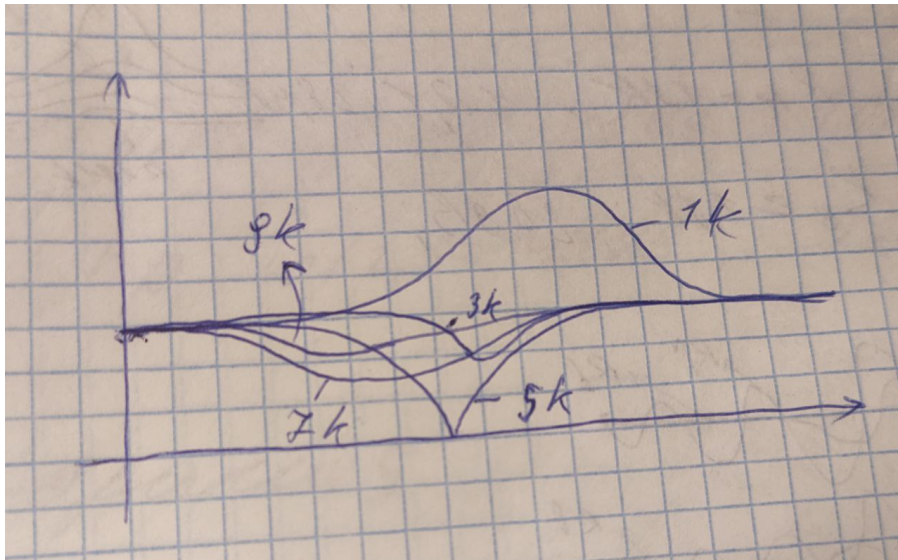


Рис. 3: $R_1 = [300k, 1500k|300k]$

Изучим поведение фильтра при разбалансировании моста варьированием $R_5 = [1k, 9k|2k]$:

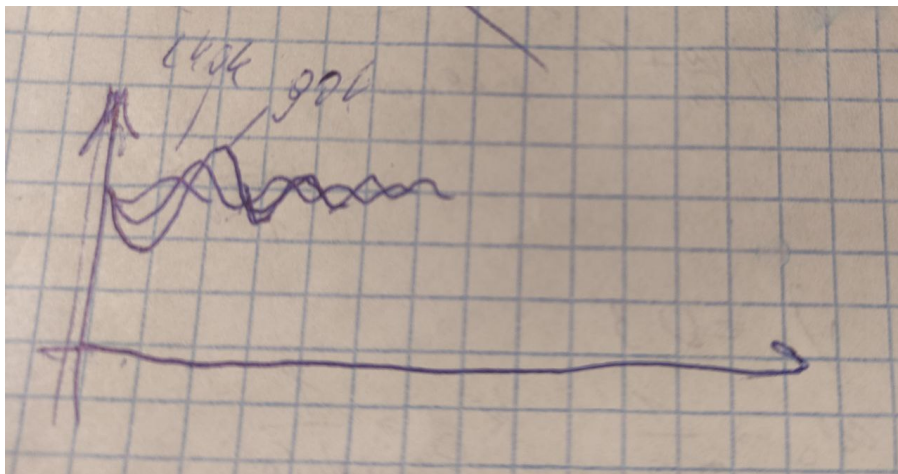
5. Изучим переходную характеристику фильтра. Измерим уровни скачка в нуле и первого выброса:

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

Рис. 4: $R_5 = [1k, 9k|2k]$

$$U_1 = 0,7 \text{ В}$$

Последим за ее изменением при варьировании $R_1 = [90k, 240k|30k]$ и $R_5 = [1k, 9k|2k]$:

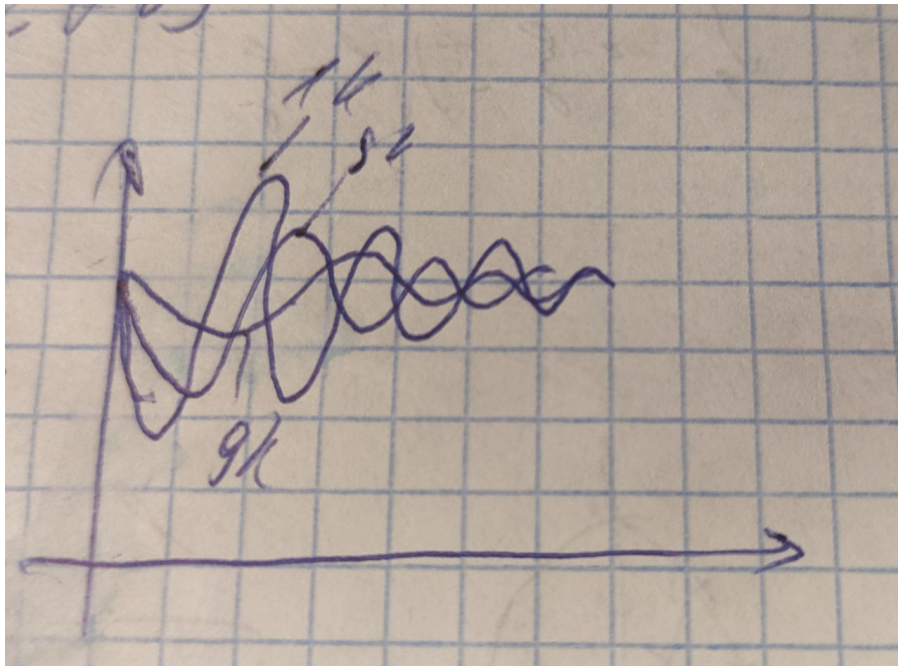
Рис. 5: $R_1 = [90k, 240k|30k]$

3 Звенья Саллена-Ки

1. Откроем модель **skey.cir** звеньев Саллена-Ки с частотой $f_0 = 10k$ и добротностью $Q = 1$. Изучим частотные характеристики звеньев. Измерим значение коэффициентов передачи:

$$\Phi_{HЧ}: K = 1$$

$$\Phi_{ВЧ}: K = 1$$

Рис. 6: $R_5 = [1k, 9k|2k]$

$$\Pi\Phi: K = 1$$

Проанализируем изменение частотных характеристик фильтров при варьировании резисторов $R_L, R_H, R_P = [11k, 19k|2k]$. Измерим пиковые значения усиления при $R_{L,H,P} = 19k$:

$$\Phi HЧ: U = 29,4 \text{ В}$$

$$\Phi BЧ: U = 28,4 \text{ В}$$

$$\Pi\Phi: U = 28,8 \text{ В}$$

- Исследуем переходные характеристики фильтров и их поведение при варьировании $R_L, R_H, R_P = [11k, 19k|2k]$.
- Откроем модель **sk3pole.cir** с фильтрами Баттерворта верхних и нижних частот порядка $n = 3$ на частоту среза $f_0 = 10k$. Проанализируем частотные характеристики фильтров. Измерим скорость спада в dB на октаву и затухания на частотах $f_0/2, 2f_0$:

$$\Phi HЧ: 2f_0 \rightarrow -18dB$$

$$textit: f_0/2 \rightarrow -18dB$$

Преобразуем их в фильтры Чебышева с $\varepsilon = 1$. Параметры полюсов ФНЧ можно получить в *MatLab* командой `highpass(cheb(3,1))`. Измерим уровни затухания на частотах $f_0/2, 2f_0$ и $F_0/10, 10f_0$:

$$textit: 2f_0 \rightarrow -26dB, 10f_0 \rightarrow -69dB$$

$$\Phi BЧ: f_0/2 \rightarrow -26dB, f_0/10 \rightarrow -69dB$$

4. Открыв прототип **sk4pole.cir** реализуем 4-полюсной полосовой фильтр Чебышева с $f_0 = 10k, \varepsilon = 1, Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 6$. Измерим уровни затухания на частотах $f_0/2, 2f_0$ и $F_0/10, 10f_0$:

$$textit : \quad 2f_0 \rightarrow -41dB, 10f_0 \rightarrow -73,8dB$$

$$\Phi B \Psi : \quad f_0/2 \rightarrow -41dB, f_0/10 \rightarrow -73,8dB$$

4 Звенья с двойной обратной связью

1. Откроем прототип **amp1bp.cir** и реализуем полосовое звено с $f_0 = 5k, K_0 = 5, Q = 15$. Измерим ширину полосы по уровню $0.7 = -3dB$ и пиковое усиление QK_0 , оценим добротность:

$$\Delta f = 0.35k$$

$$Q \simeq 14.3$$

$$QK_0 \simeq 75$$

Изучить поведение АЧХ при варьировании $R_2 = [100, 1.3k|200]$. Построить график зависимости частоты пика от R_2 .

$f, \text{кГц}$	4,11	4,38	4,74	5,27	6,18	7,65	12,7
$R, \text{кОм}$	1,3	1,1	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1

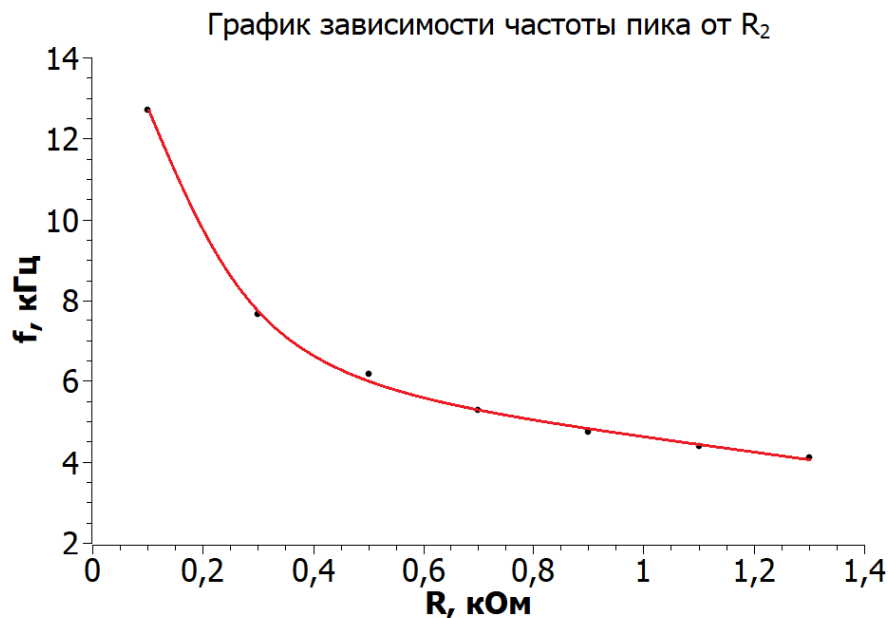


Рис. 7: $R_2 = [100, 1.3k|200]$

2. Соберем звено на макетной плате. Экспериментально измерим параметры K_0, f_0, Q :

$$f_0 = 5,5 \text{ кГц}$$

$$K_0 = 62,5$$

$$\Delta f = 0,48$$

$$Q \simeq 11,45$$

$$K_0 \simeq 5,46$$

Также можем заметить совпадение переходных характеристик собранной и смоделированной схемы.

3. Откроем прототип **cheb6pole.cir** и реализуем шестиполосный полосовой фильтр Чебышева с параметрами $f_0 = 1k, \varepsilon = 1, Q = 3$. Измерим затухания на частотах $0.1k, 0.5k, 2k, 10k$:

$$f = 100 : 100dB$$

$$f = 500 : 51dB$$

$$f = 2k : 51.5dB$$

$$f = 10k : 101dB$$

5 Звенья эллиптических фильтров

1. Выберем параметр селективности $\eta = 1,3$. Реализуем трехполосной эллиптический фильтр нижних частот с параметрами $f_0 = 1k, \varepsilon = 1, \eta = 1,3$. Изучим частотную характеристику фильтра и частотные характеристики составляющих его звеньев. По фазовой характеристике установим, что нуль находится в правой полуплоскости. Определим уровень затухания и границу полосы задержания:

$$\eta_1 = 25,6dB$$

$$\eta \simeq 3dB$$