

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ СИГНАЛАМ И ЦЕПЯМ

---

## Активные фильтры.

---

**Автор:**

Глеб Уваркин

615 группа



21 ноября 2017 г.

## Задание №1. Звенья первого порядка.

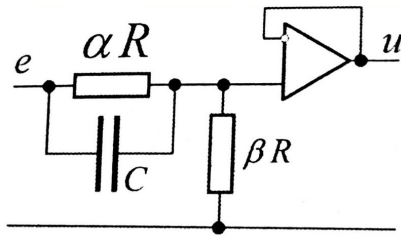


Рис. 1: Пропорционально дифференцирующее звено.

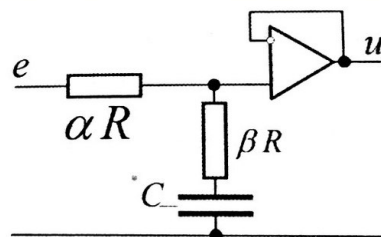


Рис. 2: Пропорционально интегрирующее звено.

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

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

Подавление на частоте  $f_0 = 10k$ :

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

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.

3. Откроем модель **integrator.cir** реального интегратора с частотой единичного усиления  $f_1 = \frac{1}{2\pi RC} = 10k$  и усилением  $K = \frac{R_K}{R}$ .

$f_1$ , 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

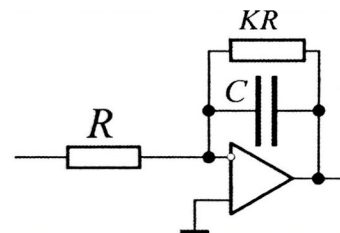
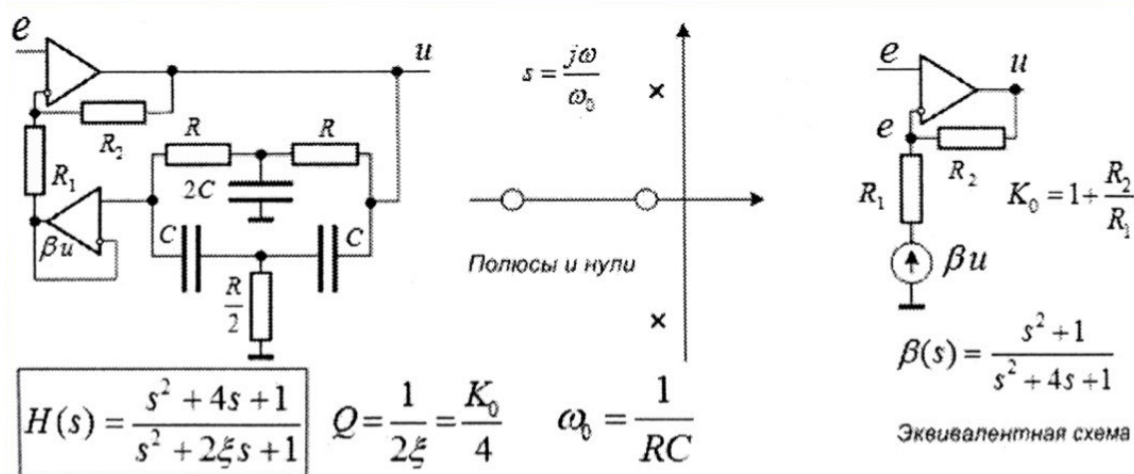


Рис. 3: Реальный интегратор.

$$\Rightarrow f_1 = f_0 K - \text{соотношение выполняется.}$$

## Задание №2. Активные звенья с двойным Т-мостом.



1. Откроем модель полосового фильтра `pass2T.cir` с  $f_0 = 10k$ ,  $K_0 = 20$ . Измерим усиление на частоте  $f_0$  и полосу  $\Delta f$  по уровню -3dB. Получаем  $K_0 = 20.92$ ,  $\Delta f = 1.93$  ( $R_2 = 20k$ ).

Таблица 1: Зависимость пикового усиления и ширины полосы от  $R_2$ .

$R_2$ , Ом	40k	60k	80k	100k
$K_0$	41.02	61.12	81.11	101.24
$\Delta f$ , Гц	979	643	495	397

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

Таблица 2: Зависимость пикового усиления от  $R_5$ .

$R_5$ , 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

3. Измерим уровни скачка в нуле и первого выброса: уровень скачка - 1В при  $R_5 = 5k$  Ом.

Оценим значение  $R_5$ , при котором фильтр теряет устойчивость.

Таблица 3: Оценка  $R_5$ .

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

Потеря устойчивости происходит при  $R_5 = 3k$  Ом.

4. Откроем модель режекторного фильтра `stop2T.cir` с  $f_0 = 10k$ ,  $\gamma = 0.1$ .

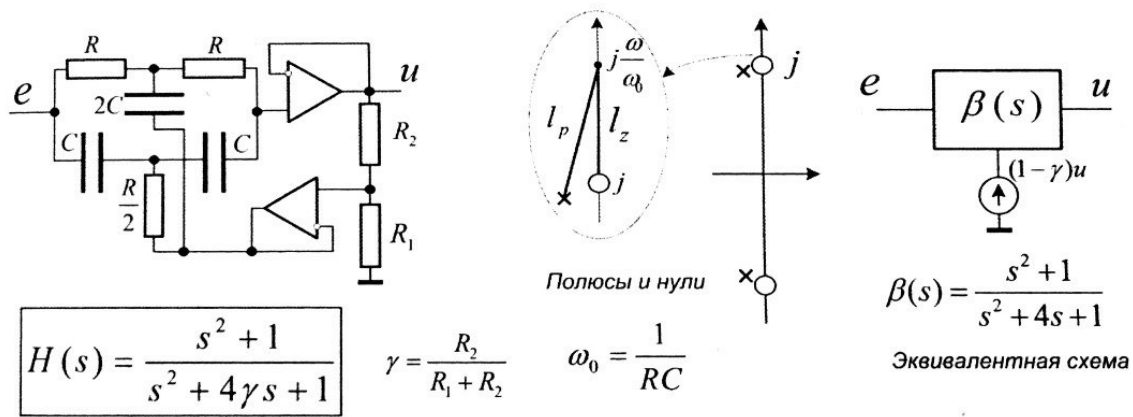


Рис. 5: Режекторный фильтр с двойным Т - мостом.

Измерим ширину полосы режекции  $\Delta f$  по уровню  $0.7 = -3dB$ . Получим:  $\Delta f = 4.07$  кГц.

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

### Задание №3. Исследование созвездий.

**2.**  $n = 7$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $\eta = 2 \rightarrow \eta_1 = 5042$  — уровень затухания фильтра Чебышева, тот же уровень затухания достигается фильтром Баттерворта порядка  $n = 7$  при  $\eta = 3.38$

**3.**  $n = 7$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $\eta = 1.5 \rightarrow \eta_1 = 321.5$ , порядок фильтра Баттерворта с тем же затуханием при  $\eta = 1.5 \rightarrow \eta = 15$

**4.** Уровень затухания эллиптического фильтра при  $n = 7$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $\eta = 1.1 \rightarrow \eta_1 = 608.46$ . При селективности  $\eta = 1.56$  достигается тот же уровень затухания фильтром Чебышева  $n = 7$ ,  $\varepsilon = 1$

**7.** Полосовой фильтр с частотой  $f_0 = 465k$ , двусторонней полосой  $\Delta f = 24k$  ( $Q = \frac{f_0}{\Delta f} \simeq 20$ ), неравномерностью  $3dB(\varepsilon = 1)$  и затуханием  $\eta_1 = 10^4 = 80dB$ . Селективность  $\eta = 1.36$  обеспечивает затухание  $\eta_1$  эллиптическим фильтром порядка  $n = 7$ . При  $n = 2$  фильтр Чебышева обеспечивает сопоставимое значение селективности при том же затухании. Преобразовав эти фильтры в полосовые с  $Q = 20$  получаем максимальные добротности полюсов:  $Q_{max} = 1049.39$  для эллиптического и  $Q_{max} = 2084.96$  для фильтра Чебышева.

## Задание №4. Звенья Саллена-Ки.

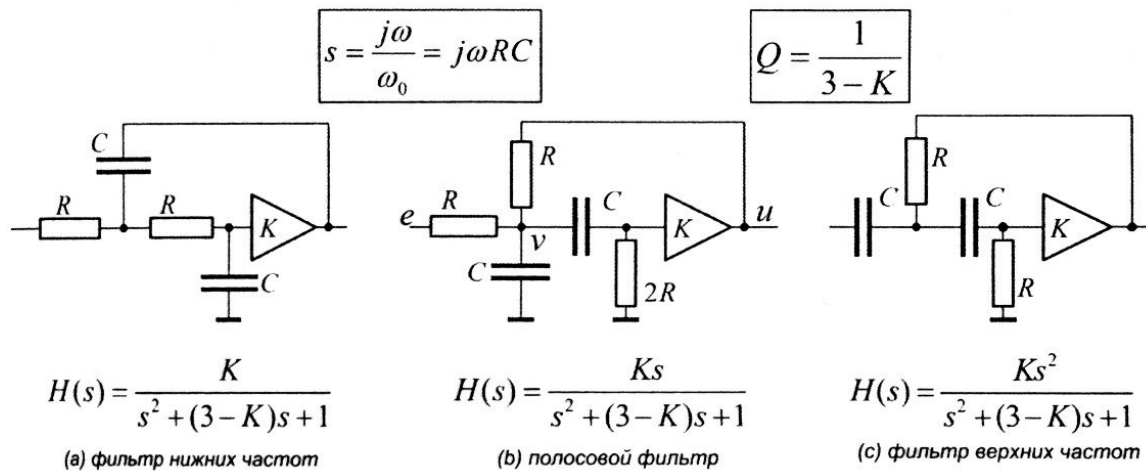


Рис. 6: Звенья Саллена-Ки.

1. Откроем модель **skkey.cir** звеньев Саллена-Ки с частотой  $f_0 = 10k$  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. Откроем модель **sk3pole.cir** с фильтрами Баттерворта верхних и нижних частот порядка  $n = 3$  на частоту среза  $f_0 = 10k$ . 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  $-15 \frac{dB}{дек}$

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

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

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

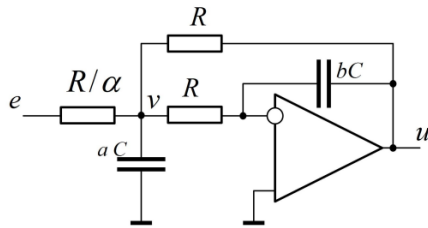
НЧ: затухание на  $2f_0$ :  $-30 dB$ , скорость спада  $18 \frac{dB}{дек}$ .

4. Откроем прототип **sk4pole.cir**, реализуем 4-полюсной полосовой фильтр Чебышева с  $f_0 = 1k$ ,  $\epsilon = 1, Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 6$ . 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

## Задание №5. Звенья с двойной обратной связью.

1. Полосовое звено с  $f_0 = 5k$ ,  $K_0 = 5$ ,  $Q = 15$

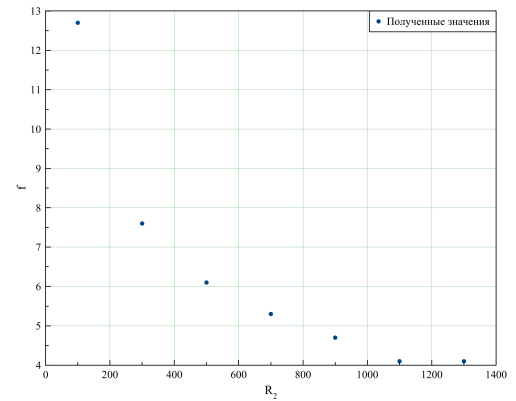


$$f_{max} = 4.980k, \Delta f = 338 \text{ — ширина полосы по уровню } 0.7.$$

$$Q = \frac{f_{max}}{\Delta f} = 14.7, QK_0 = 73.5 \text{ — пиковое усиление.}$$

Построим график зависимости частоты пика от  $R_2$

$R_2$	100	300	500	700	900	1100	1300
$f$	12.7k	7.6k	6.1k	5.3k	4.7k	4.4k	4.1k



3.  $C^* = \nu_1 = 11.63 \text{ нФ}$ ,  $R^* = R/\nu_2 = 8.61 \text{ кОм}$ . Затухания:

$f$	0.5k	2k	10k
затухание	-7.88	1.28m	-26.3

## Задание №6. Полосовое звено на сдвоенном усилителе.

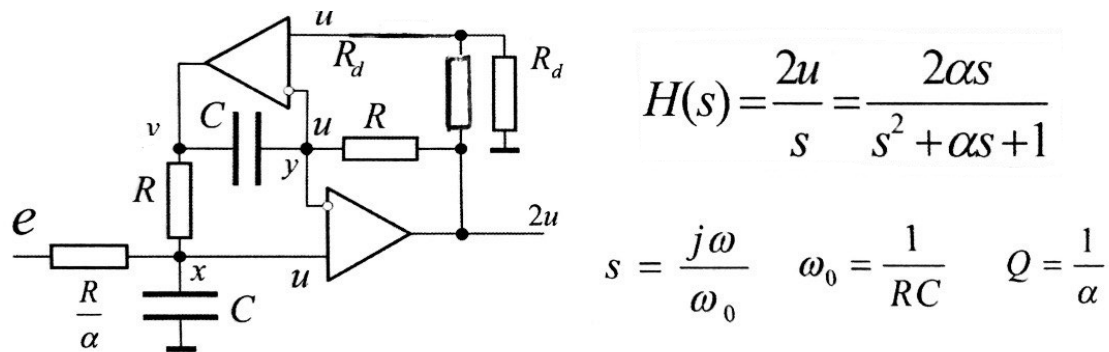


Рис. 7: Полосовой фильтр на сдвоенном операционном усилителе.

1. Откроем модель **amp2bp.cir**. По частотной характеристике звена оценим его параметры:  $f_0 = 10k$ ,  $Q = 9.7$ . Измерим значение добротности при  $R_2 = 6400k$ .

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



## Задание №7. Звенья эллиптических фильтров.

1. Реализуем трехполосной эллиптический фильтр нижних частот с параметрами  $\eta = 1.5$ ,  $f_0 = 1k$ ,  $\epsilon = 1$ ,  $\eta_1 = 35.61$ ,  $\nu_z = 1.67512$ ,  $\nu_0 = 0.34797$ ,  $\nu_p = 0.94016$ , затухание — 31.03 dB

Измерим границу  $\eta$  полосы задержания, положение нуля и уровень затухания  $\eta_1$ :

$\epsilon = 0.64$  - неравномерность,  $\eta = 1.478k$  - граница полосы задержания

$\eta_1 = 3.16$  - уровень затухания, положение нуля:  $1.672k$

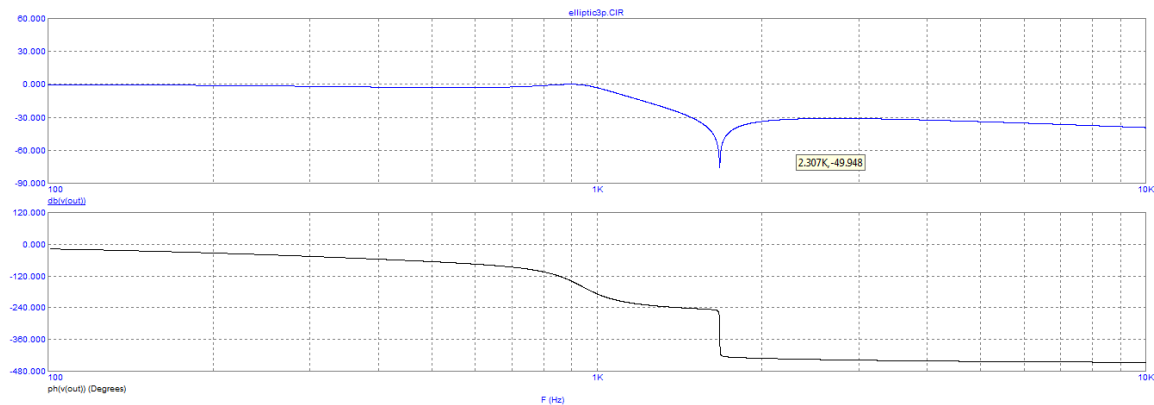


Рис. 8: АЧХ и ФЧХ фильтра нижних частот.

2. Реализуем фильтр верхних частот с теми же параметрами. Измерим границу  $\eta$  полосы задержания, положение нуля и уровень затухания.

$\epsilon = 0.59$ ,  $\eta = 663.68$ ,  $\eta_1 = 10.04$

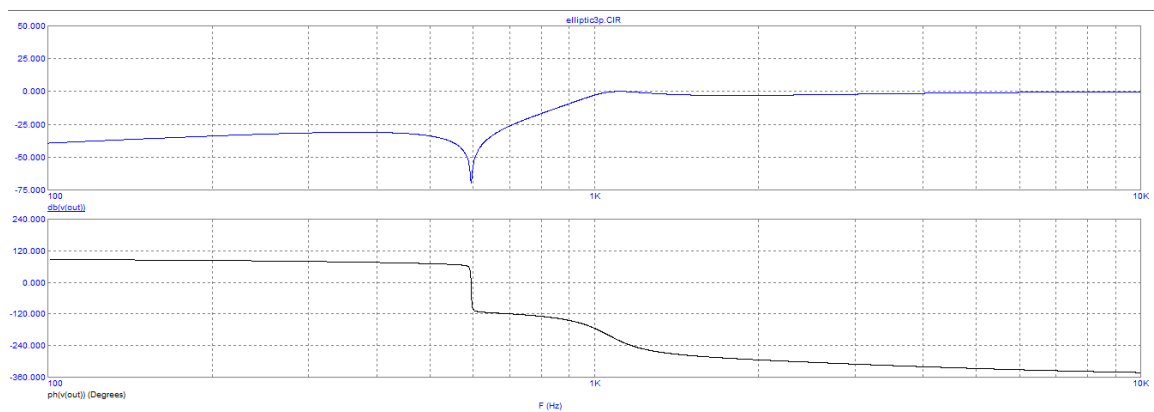


Рис. 9: АЧХ и ФЧХ фильтра верхних частот.