

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Лабораторная работа № 19

"АКТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ"

Выполнила студентка Б01-903

Юлия Прохорова

Долгопрудный, 2021 г.

## 1. Задание №1. Звенья первого порядка.

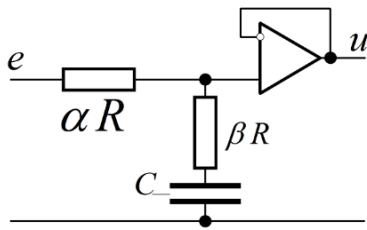


Рис. 1: Пропорционально интегрирующее звено.

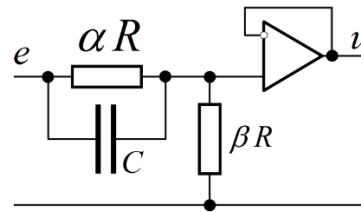


Рис. 2: Пропорционально дифференцирующее звено.

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

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

Подавление на частоте  $f_0 = 10k$ :

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

- 2) Измерим номиналы резисторов в схемах так, чтобы сохранив положения полюсов, переместить нули 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  $K = \frac{R_K}{R}$ .

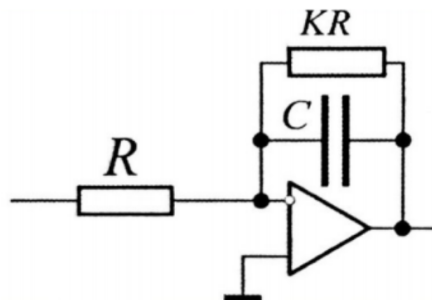


Рис. 3: Реальный интегратор.

|                       |     |      |       |       |       |       |
|-----------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| $f_1, \Gamma\text{ц}$ | 10k | 10k  | 10k   | 10k   | 10k   | 10k   |
| K                     | 2   | 4    | 8     | 16    | 32    | 64    |
| $f_0, \Gamma\text{ц}$ | 5k  | 2.5k | 1.25k | 0.61k | 0.31k | 0.15k |

Соотношение  $f_1 = f_0 K$  - выполняется.

- 4) Подключим step единичного перепада, изучим переходные характеристики интегратора  $h_0(t/\tau_1)$ ,  $\tau_1 = RC = 15.92\mu$ .

|          |      |      |      |      |       |       |
|----------|------|------|------|------|-------|-------|
| $t/\tau$ | 2    | 4    | 8    | 16   | 32    | 64    |
| $h$      | 0.82 | 1.62 | 3.22 | 6.42 | 12.82 | 25.63 |
| $h$      | 0.4  | 0.8  | 1.6  | 3.3  | 6.5   | 13.1  |

Подключим источник pulse, проанализируем результаты интегрирования серии прямоугольных импульсов.

|          |      |      |     |     |     |      |
|----------|------|------|-----|-----|-----|------|
| $t/\tau$ | 2    | 4    | 8   | 16  | 32  | 64   |
| $h$      | 0.42 | 0.83 | 1.6 | 3.3 | 6.5 | 13.1 |

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

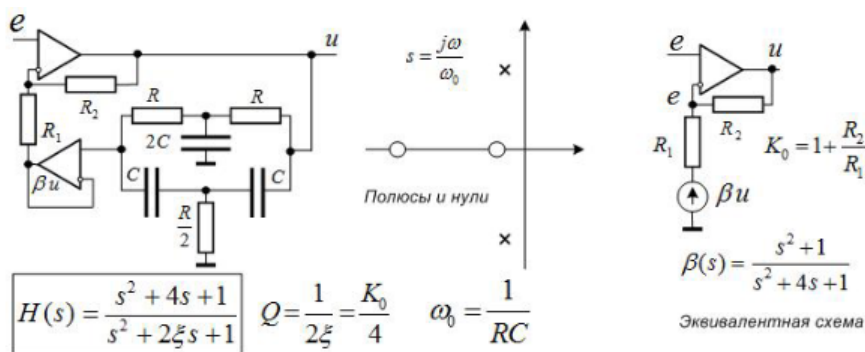


Рис. 4: Полосовой фильтр с двойным Т-мостом.

- 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. Получили усиление  $K_0 = 20.92$ ,  $\Delta f = 1/93$  ( $R_2 = 20k$ ).

|                 |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| $R_2$ , Ом      | 40k   | 60k   | 80k   | 100k  |
| $K_0$           | 40.45 | 59.21 | 76.91 | 93.33 |
| $\Delta f$ , Гц | 1038  | 698   | 547   | 461   |

Таблица 1: Зависимость пикового усиления и ширины полосы от  $R_5$ .

- 2) Изучим поведение фильтра при разбалансировании моста варьированием  $R_5$ . Снимаю зависимость пикового усиления.

|                  |       |       |       |        |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R_5, \text{Ом}$ | 1.5   | 2     | 2.5   | 3      | 3.5   | 4     | 4.5   | 5     | 5.5   |
| $K_0$            | 32.46 | 43.77 | 79.67 | 956.78 | 90.59 | 42.88 | 28.13 | 21.01 | 16.85 |

Таблица 2: Зависимость пикового усиления от  $R_5$ .

- 3) Измерим уровни скачка в нуле и первого выброса: уровень скачка - 0.96В.

|                  |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| $R_5, \text{Ом}$ | 5k   | 4.5k | 4k   | 3.5k | 3k   | 2.5k |
| Выброс           | 4.29 | 4.49 | 4.72 | 5.01 | 5.36 | 5.82 |

Таблица 3: Оценка значения  $R_5$ , при котором фильтр теряет устойчивость.

Потеря устойчивости происходит при  $R_5 = 3k\text{Ом}$ .

- 4) Откроем модель stop2T.cir с  $f_0 = 10k$ ,  $\gamma = 0.1$ .

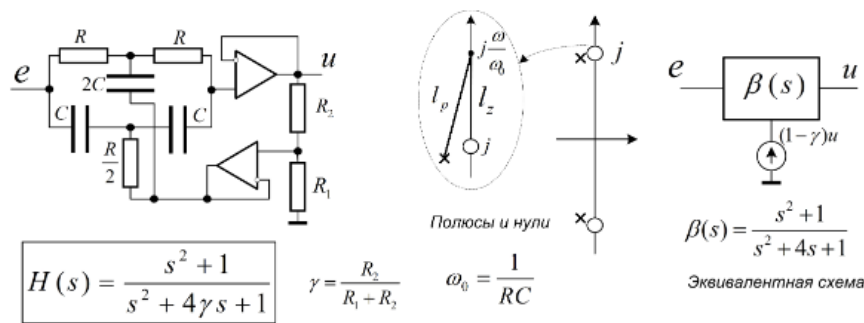


Рис. 5: Режекторный фильтр с двойным Т-мостом.

Измерим ширину полосы режекции  $\Delta f$  по уровню 0.7 = -3dB. Получим:  $\Delta = 4.06k\text{Гц}$ . Изучим ее изменение при варьировании  $R_1$  и поведение фильтра при разбалансировании моста варьированием  $R_5$ .

- 5) Изучим уровни скачка в нуле и первого выброса. Уровень скачка: 1В; первый выброс - 701.2мВ.

### 3. Задание №3. Исследование созвездий.

- 1)  $n = 7$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $\eta = 2$ ,  $\rightarrow \eta_1 = 5042$  - уровень затухания фильтра Чебышева, тот же уровень затухания достигается фильтром Баттерворда порядка  $n = 7$  при  $\eta = 3.3808$
- 2)  $n = 7$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $\eta = 1.5$ ,  $\rightarrow \eta_1 = 421.5$  - уровень затухания фильтра Чебышева, порядок филтра Баттерворда с тем же затуханием при  $\eta = 1.5 \rightarrow \eta = 13$
- 3) 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 филтром Чебышева  $n = 7$ ,  $\varepsilon = 1$

- 4) Полосовой фильтр с частотой  $f_0 = 465k$ , двусторонней полосой  $\Delta f = 24k$  ( $Q = \frac{f_0}{\Delta f} \approx 20$ ), 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.

#### 4. Задание №4. Звенья Саллена-Ки.

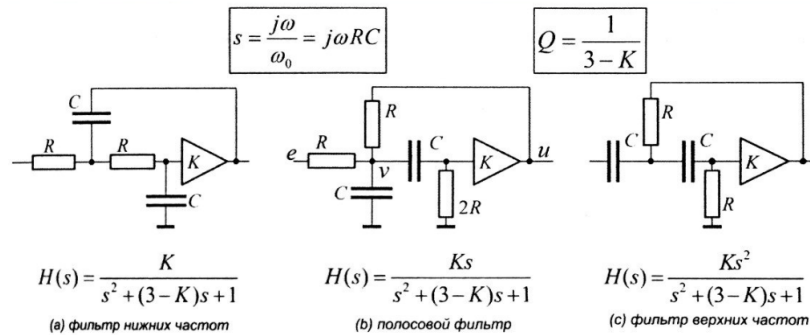


Рис. 6: Звенья Саллена-Ки

- 1) Откроем **skey.cir** звеньев Саллена-Ки с частотой  $f_0 = 10k$  и добротностью  $Q = 1$ . Измерим значения коэффициентов передачи при  $f = f_0$ . Получим:

$$K_0 = 2, \quad K_{lp} = 27.6, \quad K_{hp} = 27.53, \quad K_{bp} = 27.6$$

- 2) Откроем модель **sk3pole.cir** с фильтром Баттерворда 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: затухания на  $f_0/2$ :  $-18 dB$ , скорость спада  $-18 \frac{dB}{дек}$

НЧ: затухания на  $2f_0$ :  $-18.2 dB$ , скорость спада  $15 \frac{dB}{дек}$