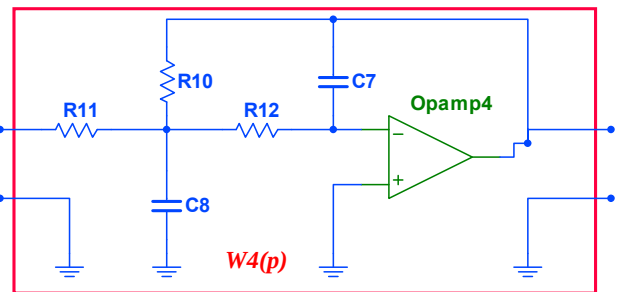
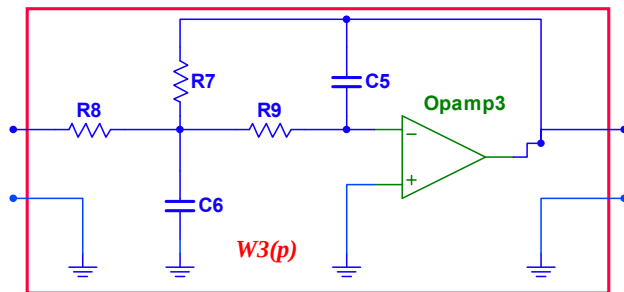
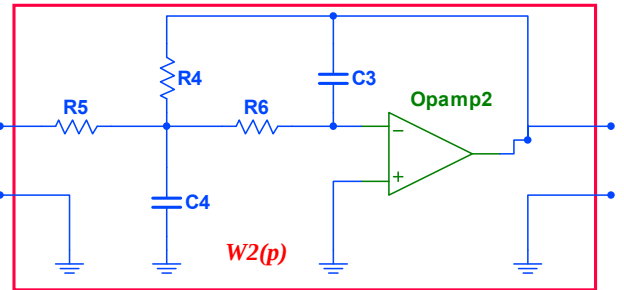
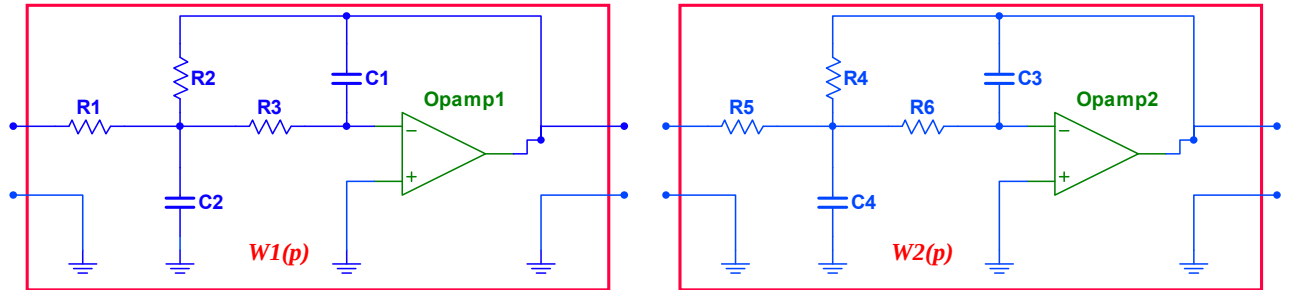
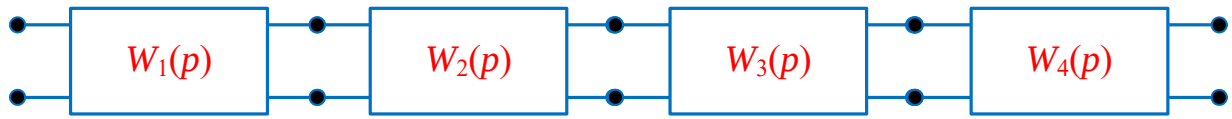


$$f := 20 \quad \omega_0 := f \cdot 2 \cdot \pi \quad \omega_0 = 125.664$$

Построить низкочастотный фильтр Бесселя 8-го порядка с частотой среза $f=20\text{Гц}$

Результирующий фильтр представляем в виде последовательного (каскадного) соединения звеньев



По таблице фильтров Бесселя находим коэффициенты:

$$\begin{aligned} a_1 &:= 1.1112 \\ a_2 &:= 0.9754 \\ a_3 &:= 0.7202 \\ a_4 &:= 0.3728 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 &:= 0.3162 \\ b_2 &:= 0.2979 \\ b_3 &:= 0.2621 \\ b_4 &:= 0.2087 \end{aligned}$$

$$W1(P) := \frac{1}{1 + a_1 \cdot P + b_1 \cdot P^2} \quad W2(P) := \frac{1}{1 + a_2 \cdot P + b_2 \cdot P^2} \quad W3(P) := \frac{1}{1 + a_3 \cdot P + b_3 \cdot P^2} \quad W4(P) := \frac{1}{1 + a_4 \cdot P + b_4 \cdot P^2}$$

$$A1(\omega) := W1(i \cdot \omega) \quad A2(\omega) := W2(i \cdot \omega) \quad A3(\omega) := W3(i \cdot \omega) \quad A4(\omega) := W4(i \cdot \omega)$$

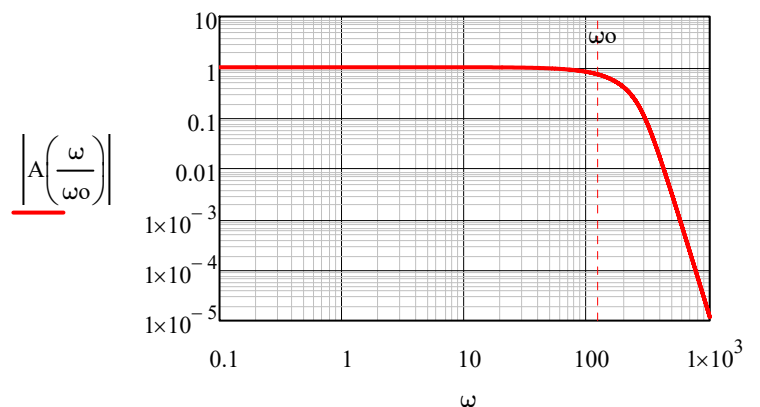
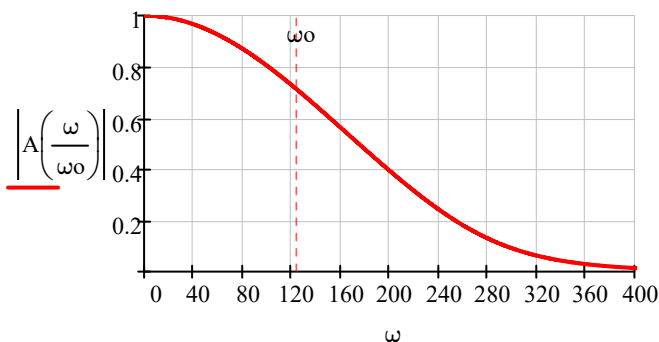
$$\varphi1(\omega) := \arg(A1(\omega))$$

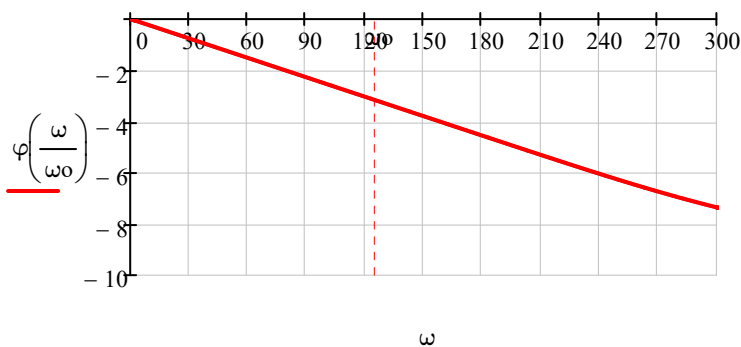
$$\varphi2(\omega) := \arg(A2(\omega))$$

$$\varphi3(\omega) := \arg(A3(\omega)) \quad \varphi4(\omega) := \arg(A4(\omega))$$

$$\varphi(\omega) := \varphi1(\omega) + \varphi2(\omega) + \varphi3(\omega) + \varphi4(\omega)$$

$$\omega := 0, .1 \dots 10^3 \quad A(\omega) := A1(\omega) \cdot A2(\omega) \cdot A3(\omega) \cdot A4(\omega)$$





Линейная фаза

Расчет первого каскада

Задаемся емкостью C_1

$$C_1 := 10^{-6} \quad A_o := -1 \quad \frac{4 \cdot b_1 \cdot (1 - A_o)}{(a_1)^2} = 2.049$$

Расчитываем C_2

$$\frac{C_2}{C_1} \geq \frac{4 \cdot b_1 \cdot (1 - A_o)}{(a_1)^2} \quad C_2 := C_1 \cdot 2.1 \quad C_2 = 2.1 \times 10^{-6}$$

Расчитываем R_2

$$R_2 := \frac{a_1 \cdot C_2 - \sqrt{(a_1)^2 \cdot (C_2)^2 - 4 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot b_1 \cdot (1 - A_o)}}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot C_2} \quad R_2 = 3.73 \times 10^3$$

Расчитываем R_1

$$R_1 := \frac{R_2}{-A_o} \quad R_1 = 3.73 \times 10^3$$

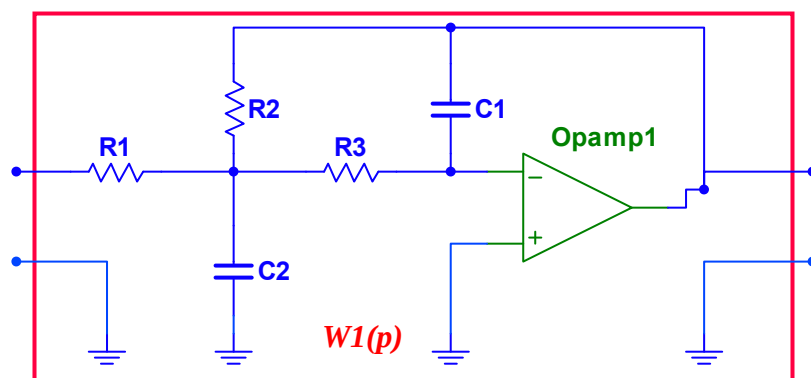
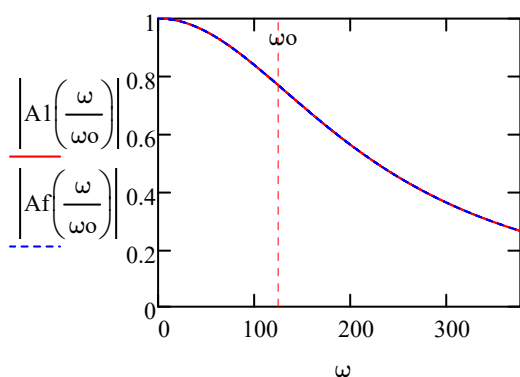
Расчитываем R_3

$$R_3 := \frac{b_1}{\omega_0^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_2} \quad R_3 = 2.556 \times 10^3$$

Строим передаточную функцию и АЧХ первого звена

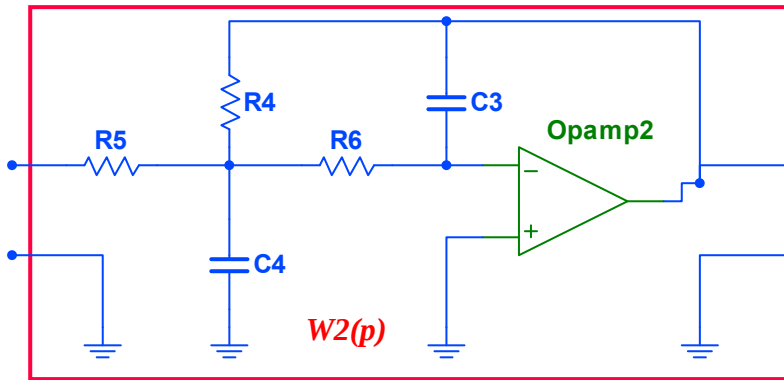
$$W_{-}(p) := \frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + \omega_0 \cdot C_1 \cdot \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} \right) \cdot p + \omega_0^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot p^2}$$

$$Af(\omega) := W_{-}(\omega \cdot i)$$



Расчет второго каскада

Аналогично посчитываем параметры следующего звена (каска)

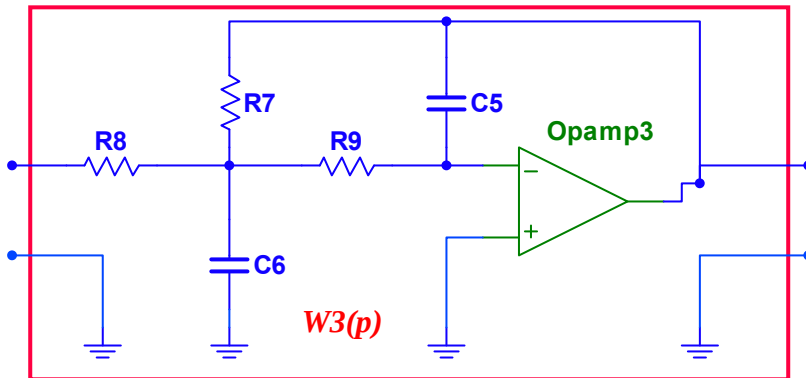


Если при расчетах получаются комплексные сопротивления необходимо увеличить отношение C_4/C_3

$$\frac{C_4}{C_3} \geq \frac{4 \cdot b_2 \cdot (1 - A_o)}{(a_2)^2}$$

Расчет третьего каскада

Аналогично посчитываем параметры следующего звена (каскада)

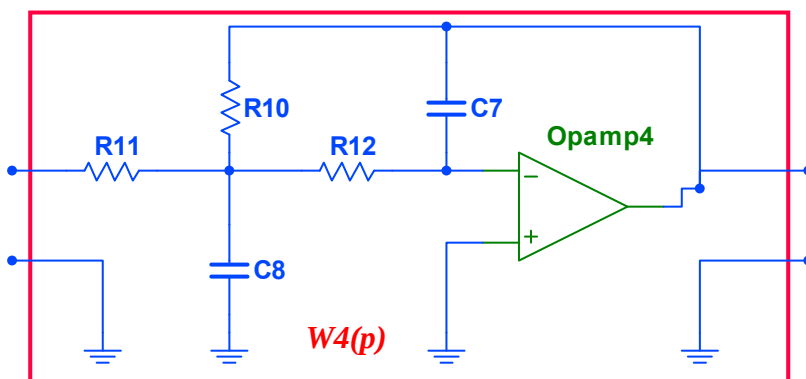


Если при расчетах получаются комплексные сопротивления необходимо увеличить отношение C_6/C_5

$$\frac{C_6}{C_5} \geq \frac{4 \cdot b_3 \cdot (1 - A_o)}{(a_3)^2}$$

Расчет четвертого каскада

Аналогично посчитываем параметры следующего звена (каскада)



Если при расчетах получаются комплексные сопротивления необходимо увеличить отношение C_8/C_7

$$\frac{C_8}{C_7} \geq \frac{4 \cdot b_4 \cdot (1 - A_o)}{(a_4)^2}$$

