

Расчет частотной компенсации 3 типа

$$L := 35 \cdot 10^{-6} \quad F_{sw} := 140000 \quad R_L := 7 \cdot 10^{-3}$$

$$C := 330 \cdot 10^{-6} \quad V_{ramp} := 3 \quad R_n := 1.5$$

$$ESR := 20 \cdot 10^{-3} \quad V_{in} := 12$$

$$F_x := 14000 \quad \text{частота кроссовера}$$

$$\varphi_m := 60 \quad \text{запас по фазе}$$

ноль в точке резонанса LC

$$f_{z2} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad \text{float}, 5 \rightarrow 1480.9 \quad \text{second zero}$$

Полюса на частоте резонанса конденсатора C*ESR и в половине частоты ШИМ

$$f_{p1} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot ESR \cdot C} \quad \text{float}, 3 \rightarrow 24114.0 \quad \text{first pole если больше second то делается равным second pole}$$

$$f_{p2} := F_{sw} \cdot 0.5 \quad \text{float}, 3 \rightarrow 70000.0 \quad \text{second pole}$$

Строим передаточную функцию разомкнутой системы (plant) slva301.pdf стр.11

$$a1 := C \cdot ESR \quad b0 := \frac{R_L}{R_n}$$

$$b1 := \frac{L}{R_n} + ESR \cdot C + R_L \cdot C + \frac{R_L \cdot ESR \cdot C}{R_n} \quad b2 := \frac{R_n + ESR}{R_n} \cdot L \cdot C$$

$$H(s) := \frac{1 + a1 \cdot s}{1 + b0 + s \cdot b1 + s^2 \cdot b2} \cdot \frac{V_{in}}{V_{ramp}}$$

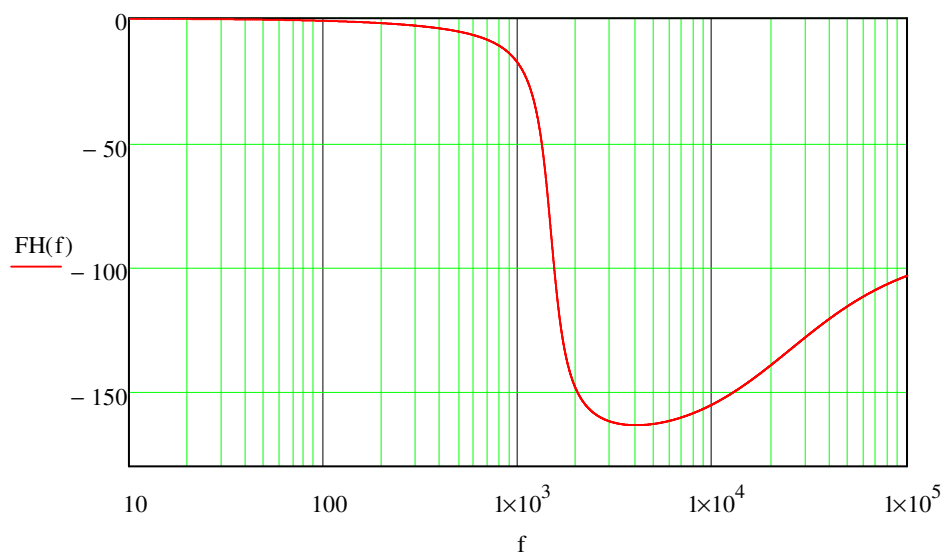
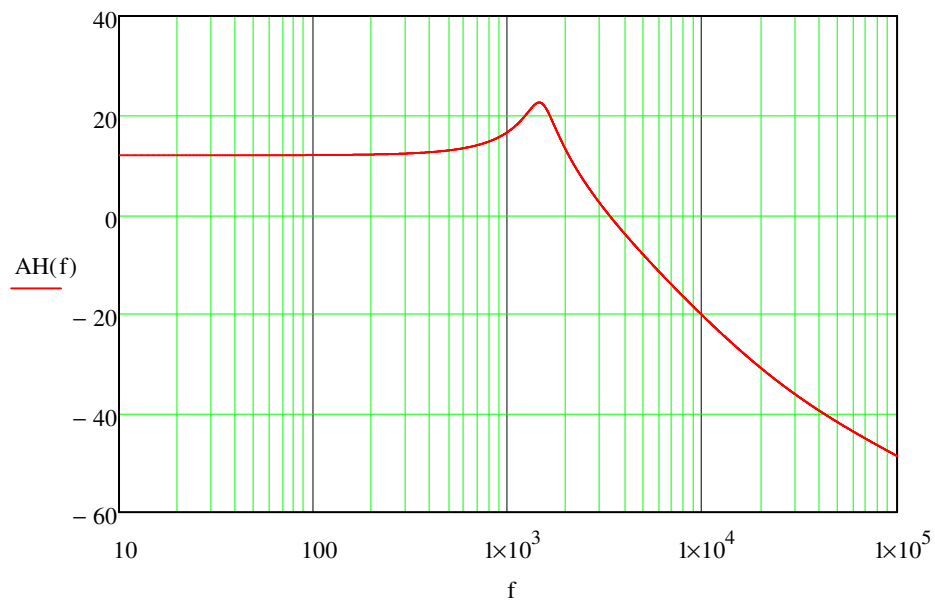
АЧХ

ФЧХ

$$AH(f) := 20 \cdot \log(|H(f \cdot \sqrt{-1} \cdot 2 \cdot \pi)|) \quad FH(f) := \arg(H(f \cdot \sqrt{-1} \cdot 2 \cdot \pi)) \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$f := 10, 11 \dots 100000$$

$$FH(14000) = -148.046$$



значение ФЧХ в точке F_x скорректированной системы т.е. то что нужно получить

$$\arg C := -180 + \varphi_{\text{m float}, 3} \rightarrow -120.0$$

значение ФЧХ в точке F_x разомкнутой системы

$$FH(F_x) = -148.046$$

Полус fp0 уменьшает фазу на 90 градусов, в итоге не скомпенсированное значение ФЧХ в точке Fx

$$\arg P := \text{FH}(F_x) - 90 \text{ float}, 3 \rightarrow -238.0$$

вычисленные полюс и ноль компенсируют следующее значение фазы

$$\text{boost1} := \left(\text{atan}\left(\frac{F_x}{f_{z2}}\right) - \text{atan}\left(\frac{F_x}{f_{p2}}\right) \right) \cdot \frac{180}{\pi} \text{ float}, 3 \rightarrow 72.7$$

осталось скомпенсировать следующее значение фазы

$$\text{boost2} := \arg C - \arg P - \text{boost1} \text{ float}, 3 \rightarrow 45.3$$

см. формулу для boost1, так находится превышение фазы, еще один полюс нам известен, нужно найти ноль и значение компенсации известно, выражаем второй ноль

$$f_{z1} := \frac{F_x}{\tan\left(\text{boost2} \cdot \frac{\pi}{180} + \text{atan}\left(\frac{F_x}{f_{p1}}\right)\right)} \text{ float}, 3 \rightarrow 3636.0$$

Осталось найти главный полюс компенсатора. По сути это коэффициент усиления компенсатора Принимаем главный полюс = 1 и находим передаточную функцию замкнутой системы H1

$$H1(s) := H(s) \cdot \frac{\left(\frac{s}{f_{z1} \cdot 2 \cdot \pi} + 1\right) \cdot \left(\frac{s}{f_{z2} \cdot 2 \cdot \pi} + 1\right)}{\left(\frac{s}{f_{p1} \cdot 2 \cdot \pi} + 1\right) \cdot \left(\frac{s}{f_{p2} \cdot 2 \cdot \pi} + 1\right) \cdot s}$$

По передаточной функции замкнутой системы мы находим усиление системы в точке Fx, т.к. это точка пересечения и в ней усиление должно быть 1, то главный полюс это значение обратное этому усилению

$$f_{p0} := \frac{1}{2\pi |H1(F_x \cdot \sqrt{-1} \cdot 2 \cdot \pi)|} \text{ float}, 3 \rightarrow 8456.0$$

Передаточная функция скорректированной замкнутой системы

$$H_C(s) := H1(s) \cdot f_{p0} \cdot 2 \cdot \pi$$

АЧХ

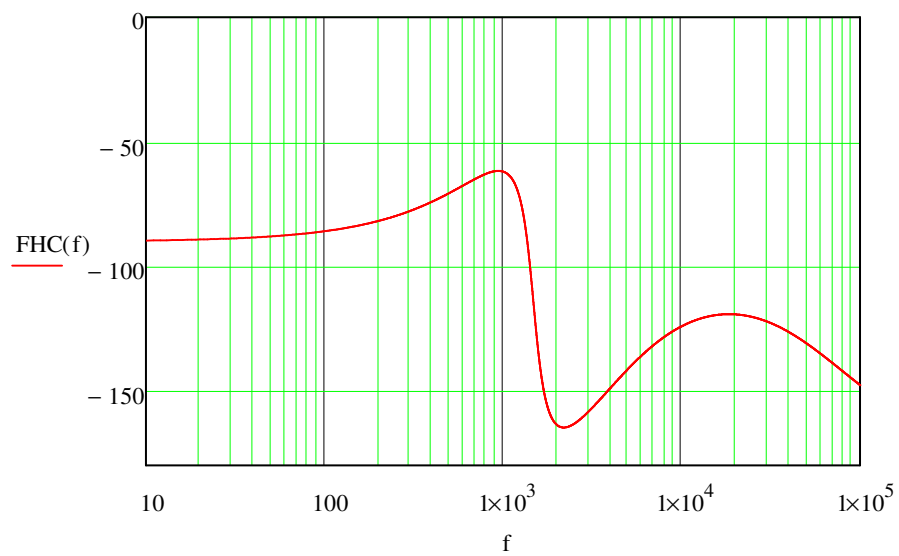
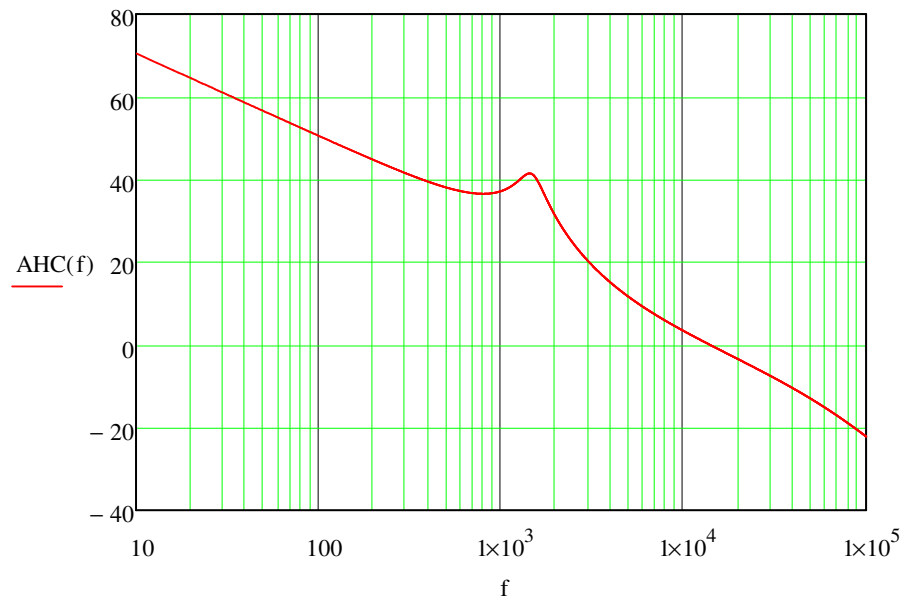
ФЧХ

$$A_{HC}(f) := 20 \cdot \log(|H_C(f \cdot \sqrt{-1} \cdot 2 \cdot \pi)|) \quad F_{HC}(f) := \arg(H_C(f \cdot \sqrt{-1} \cdot 2 \cdot \pi)) \cdot \frac{180}{\pi}$$

Запас устойчивости определяем на частоте ШИМ либо на частоте где фаза выше 180град минимальный запас 7дб, хорошее значение более 10дб

$AHC(F_{sw}) \text{ float,3} \rightarrow -27.2$

ЛЧХ и АЧХ скорректированной системы



Верхний резистор делителя

$$R1 := 1 \cdot 10^3$$

Конденсатор последовательно с резистором, которые параллельно R1

$$\frac{fp2 - fz2}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot fp2 \cdot fz2} = 1.052 \times 10^{-7} \quad C2$$

$$C2 := 100 \cdot 10^{-9}$$

Резистор последовательно с C2

$$\frac{R1 \cdot fz2}{fp2 - fz2} = 21.613 \quad R3$$

$$R3 := 20$$

Конденсатор последовательно с резистором в ОС

$$\frac{fp1 - fz1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot fp0 \cdot fp1} \text{ float,4 } \rightarrow 1.598e-8 \quad C1$$

$$C1 := 15 \cdot 10^{-9}$$

Конденсатор в цепи ОС

$$\frac{fz1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot fp0 \cdot fp1} \text{ float,4 } \rightarrow 2.838e-9 \quad C3$$

$$C3 := 2.7 \cdot 10^{-9}$$

Резистор последовательно C1

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot fz1 \cdot C1} \text{ float,4 } \rightarrow 2918.0 \quad R2$$

$$R2 := 3000 \cdot 10^3$$

