

Разработка высокоизбирательных LC фильтров с постоянным ГВЗ

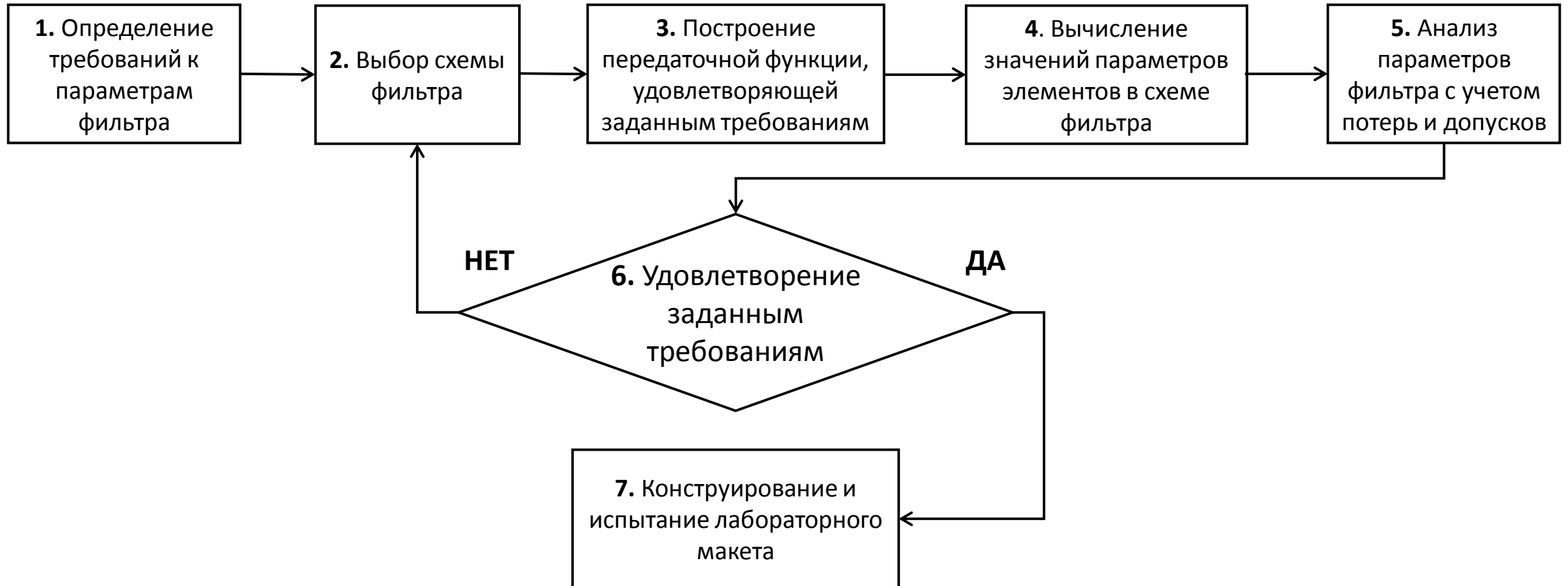
Студент группы ФРМ-702-О

Зайцев К.В.

Научный руководитель:

к.т.н., Яковлев А.Н.

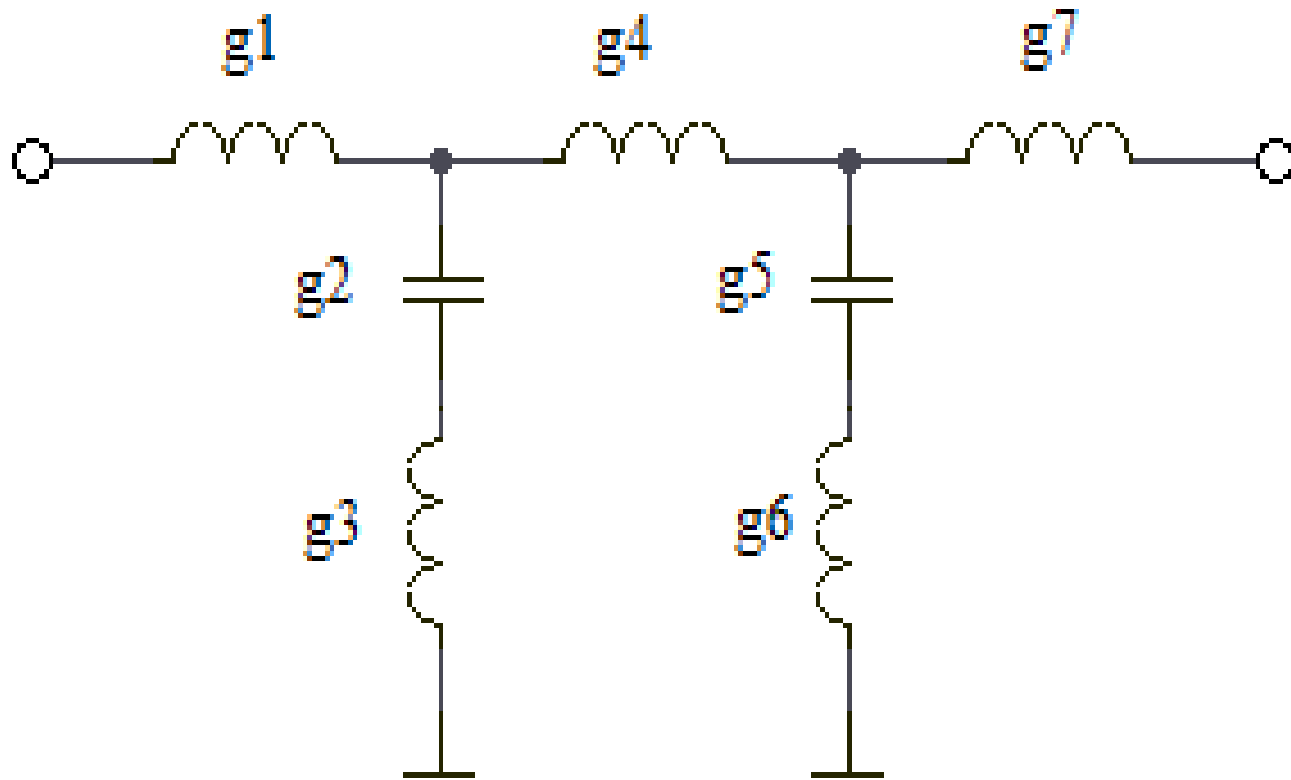
Блок-схема процесса проектирования фильтра



Требования к параметрам фильтра

| № | Наименование параметра | Обозначение | Значение |
|----|---|-------------|------------------|
| 1. | Центральная частота | F_0 | 70 МГц |
| 2. | Полоса пропускания по уровню 1 дВ | δ | 10 МГц \pm 0,3 |
| 3. | Коэффициент прямоугольности по уровню 1/40 дВ | $K_{пр}$ | не более 2,5 |
| 4. | Групповое время задержки (ГВЗ) | τ | не более 5 нс |
| 5. | Сопротивление нагрузки | R_H | 50 Ом |
| 6. | Вносимые потери в полосе пропускания | $a_{вн}$ | не более 8 дБ |

Схема фильтра прототипа

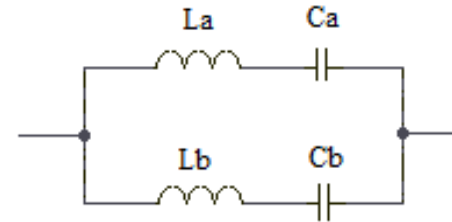
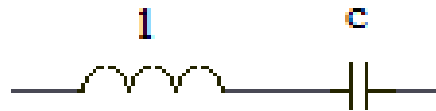


| Кэф-ты фильтра прототипа | Значение |
|--------------------------|----------|
| g_1 | 0,4421 |
| g_2 | 0,9933 |
| g_3 | 0,06098 |
| g_4 | 1,138 |
| g_5 | 0,8346 |
| g_6 | 0,8346 |
| g_7 | 0,3433 |

Преобразование фильтра прототипа в полосовой фильтр



$$L = \frac{1}{C} = kl$$



$$La = \frac{1}{cb} = kl \left(1 + \left(\frac{f_0}{f_x} \right)^2 \right)$$

$$Lb = \frac{1}{ca} = kl \left(1 + \left(\frac{f_0}{f-x} \right)^2 \right)$$

Преобразование фильтра прототипа в полосовой фильтр

k - коэффициент преобразования полосы пропускания

$$k = \frac{f_0}{\Delta f}, \quad \text{где } f_0 - \text{ центральная частота, } \Delta f - \text{ ширина полосы пропускания}$$

f_x, f_{-x} - границы полосы задерживания

$$f_x = \sqrt{f_0^2 + \left(\frac{\Delta f_x}{2}\right)^2} + \frac{\Delta f_x}{2}$$

$$f_{-x} = \sqrt{f_0^2 + \left(\frac{\Delta f_x}{2}\right)^2} - \frac{\Delta f_x}{2}$$

Расчет значений элементов схемы

$$C_i = C'_i k K_C$$

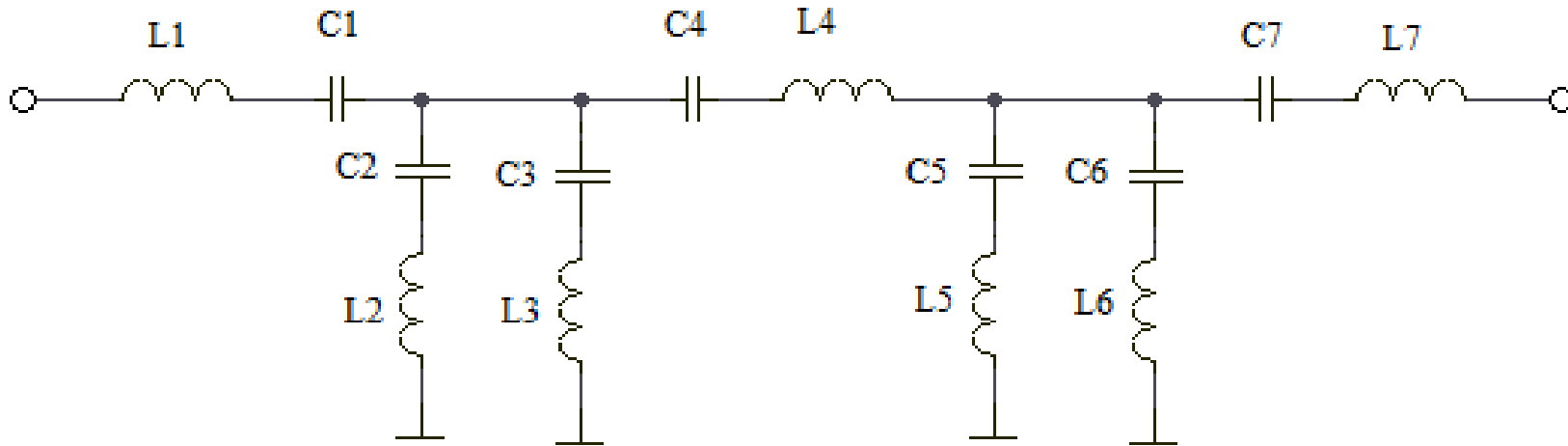
$$L_i = L'_i k K_L$$

где K_C , K_L – денормирующие коэффициенты

$$K_L = \frac{R_H}{2\pi f_0}$$

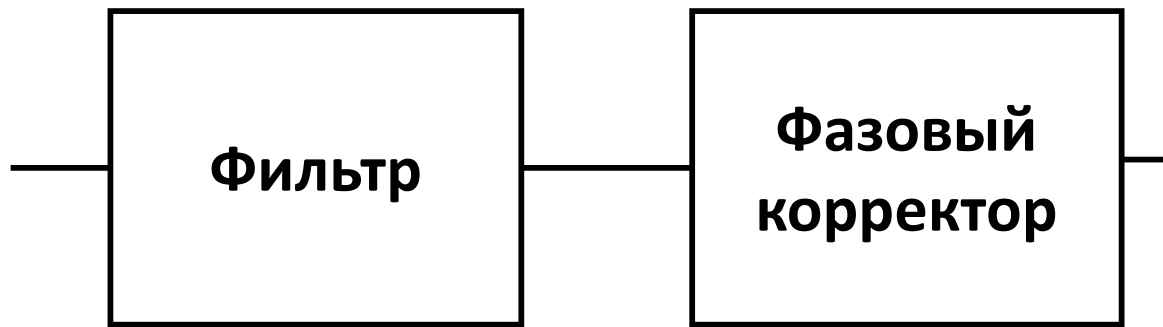
$$K_C = \frac{1}{2\pi R_H f_0}$$

Результаты расчетов элементов схемы фильтра

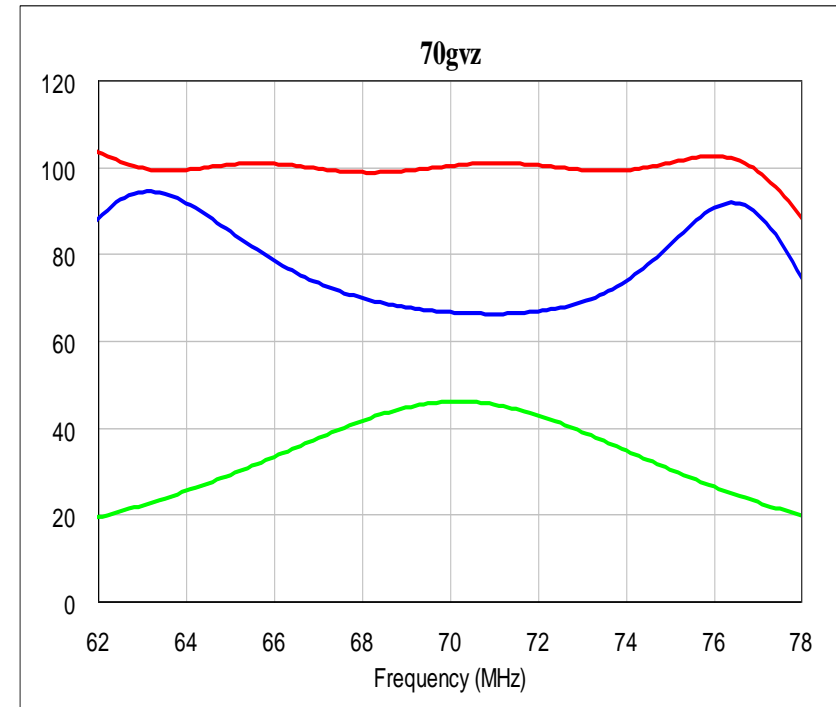


| Элемент | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 |
|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|----------|---------|--------|---------|
| Значение | 22 пФ | 20 пФ | 15 пФ | 4,7 пФ | 68 пФ | 39 пФ | 16 пФ | 240 нГн | 330 нГн | 240 нГн | 1000 нГн | 130 нГн | 75 нГн | 300 нГн |

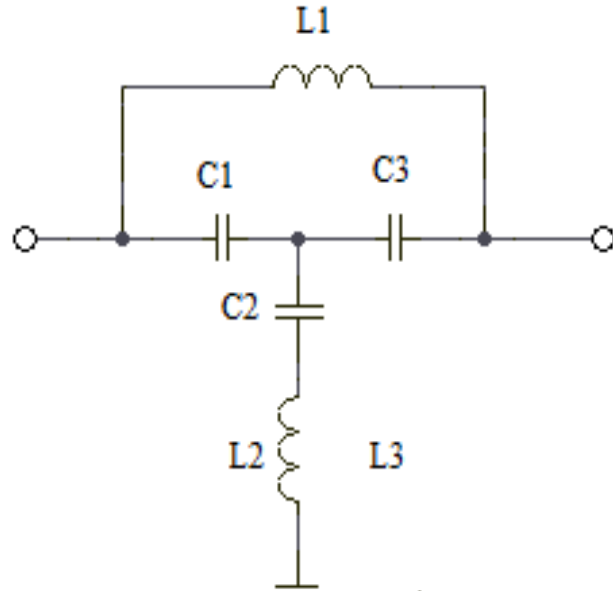
Способ реализации постоянного ГВЗ



$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\phi} + \tau_{\phi\kappa}$$



Расчет значений элементов фазового корректора



$$L_1 = \frac{4aK_L}{x^2 - 3a^2}$$

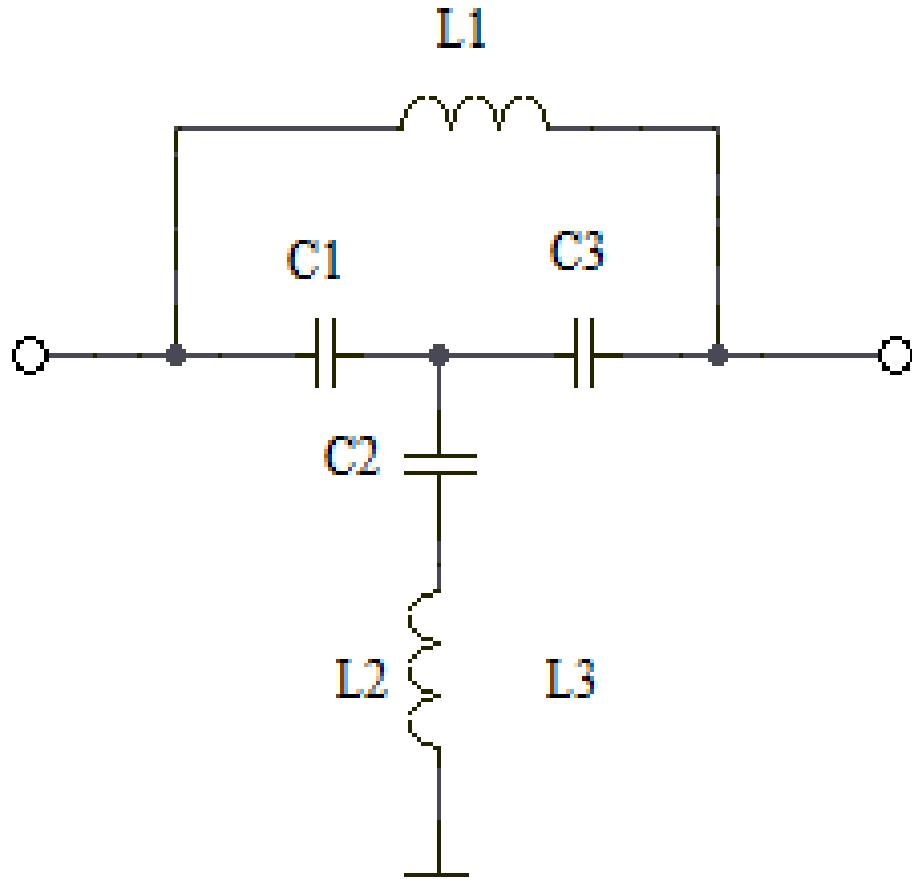
$$L_2 = \frac{K_L}{4a}$$

$$C_1 = C_3 = \frac{K_C}{2a}$$

$$C_2 = \frac{4aK_C}{a^2 - x^2}$$

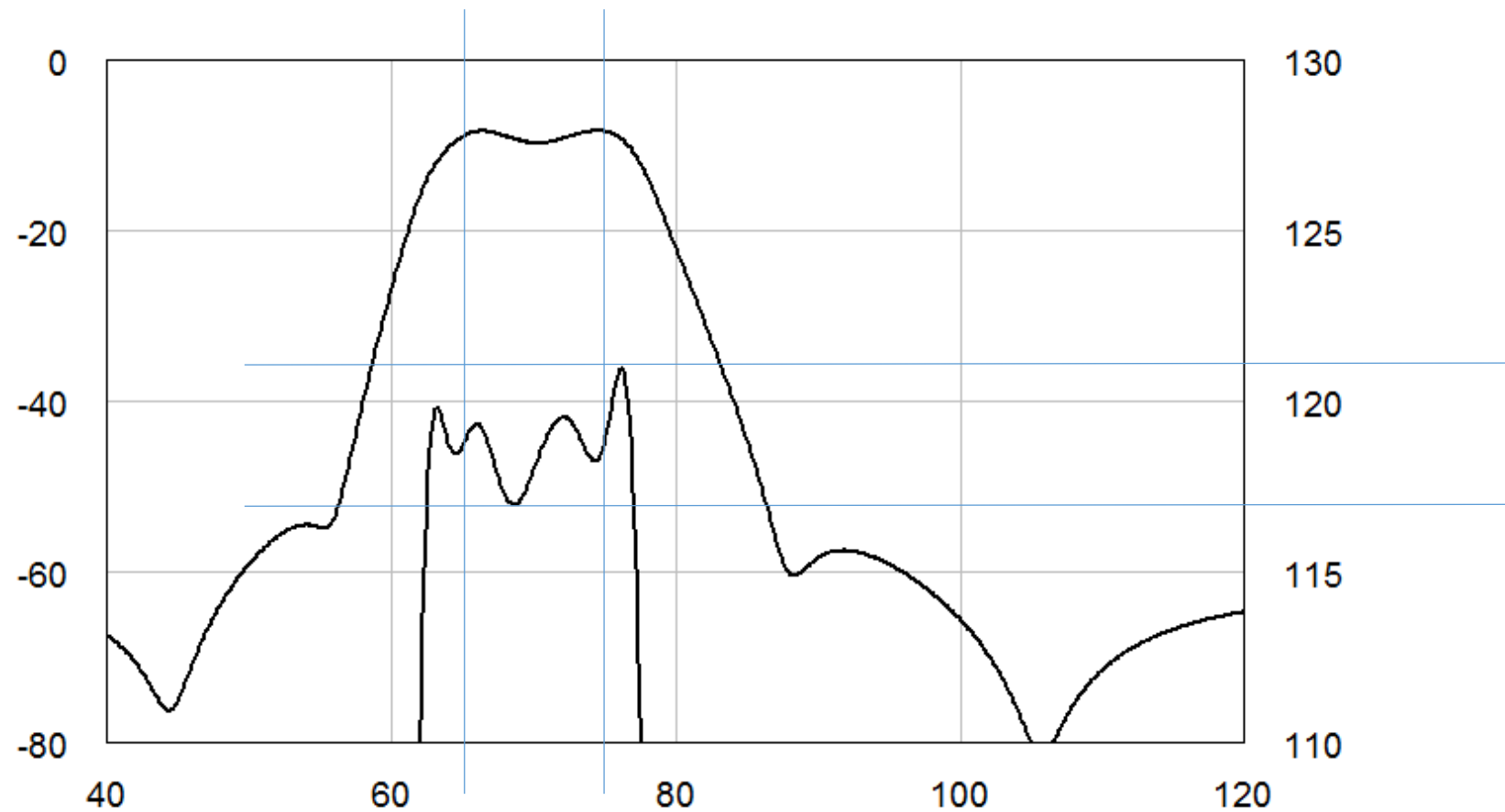
a, x – коэффициенты, характеризующие местоположения нулей и полюсов функции коэффициента передачи фазового корректора и определяются на основе шаблонов

Результаты расчета значений элементов схемы фазового корректора

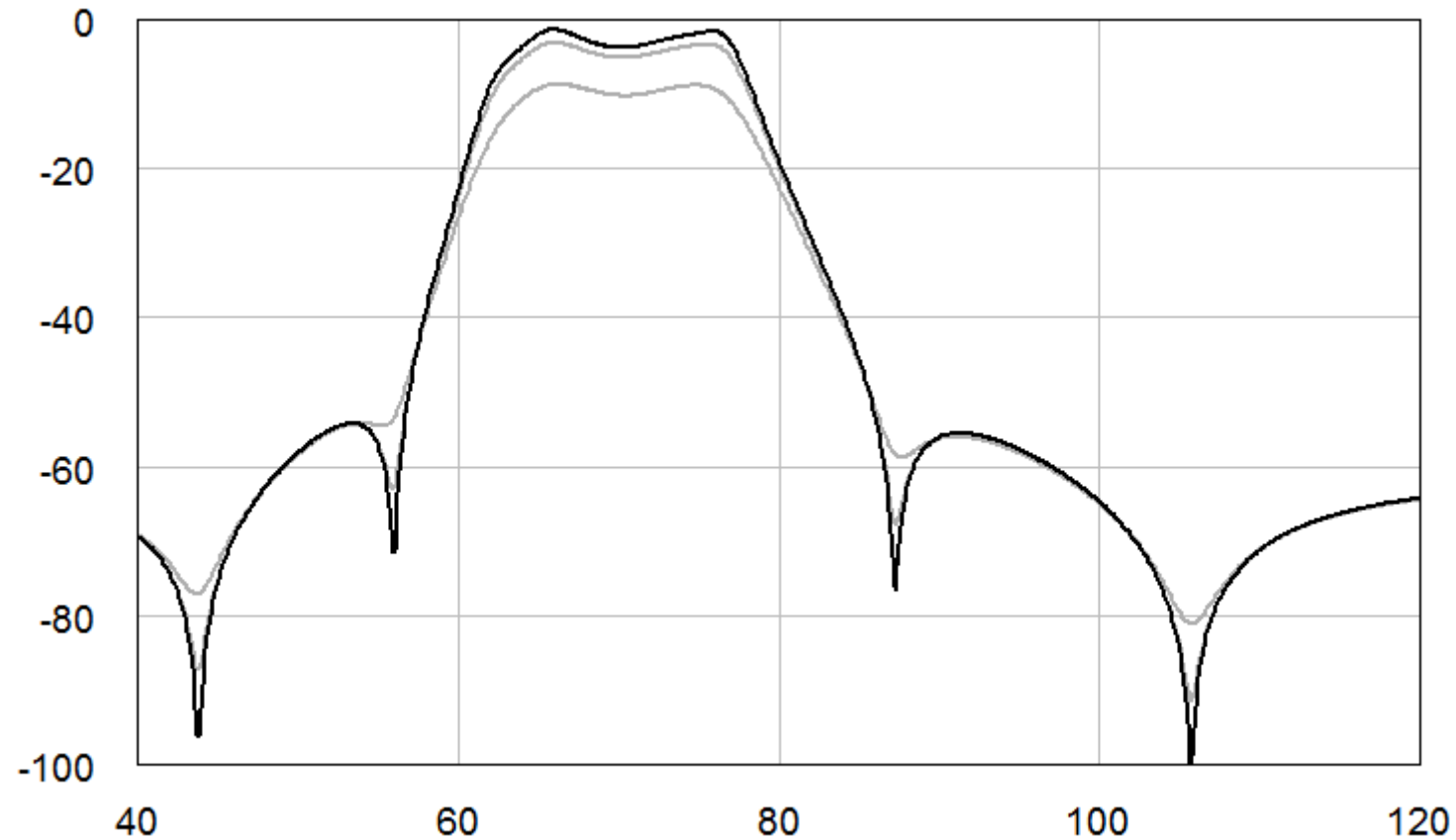


| Элемент | Значение |
|---------|----------|
| C1 | 300 пФ |
| C2 | 15 пФ |
| C3 | 300 пФ |
| L1 | 33 нГн |
| L2 | 330 нГн |

Результаты схемотехнического моделирования фильтра



Зависимость АЧХ фильтра от потерь в элементах (добротность 300, 100 и 30)



Заключение:

Выполнены расчеты элементов LC фильтра и фазового корректора в соответствии с заданными техническими требованиями к частоте, избирательности, потерям в полосе пропускания и требованиями к групповому времени задержки. Выполнено схемотехническое моделирование и проведен анализ соответствия параметров фильтра заданным значениям.

Список литературы:

1. **Бессонова Е.А.** Расчет фильтров: Учебное пособие. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004.-49с
2. **Зааль Р.** Справочник по расчету фильтров [текст] / Рудольф Зааль; пер. с нем. Ю. В. Камкина. – М.: Радио и связь, 1983. – 752 с.
3. **Ханзел Г. Е.** Справочник по расчету фильтров [текст] / Пер. с англ. под ред. А.Е. Знаменского. – М.: Сов. радио, 1974. – 288 с.
4. **Аржанов В.А., Ясинский И.М.** Электрические фильтры и линии задержки: Учеб. Пособие, - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2000-372с.
5. **Сильвинская К.А., Голышко З.И.** Расчет фазовых и амплитудных корректоров: Справочник, - Москва: Изд-во «Связь», 1969 -115с.
6. Современная теория фильтров и их проектирование [текст] / под ред. Темеша Г., Митра С. Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. - 560 с.