

Оптические фильтры

Научный руководитель

Болецкая Татьяна Константиновна

Выполнил студент гр. ФРМ – 102-О-07

Калита Александр Сергеевич

Цель работы – изучение устройства оптических фильтров.

• Для достижения этой цели нужно решить следующие задачи:

1. Изучить устройство некоторых видов оптических фильтров: MA – скользящего среднего и AR – авторегрессионных фильтров, содержащих кольцевые волноводы.
2. Рассчитать характеристики этих фильтров.

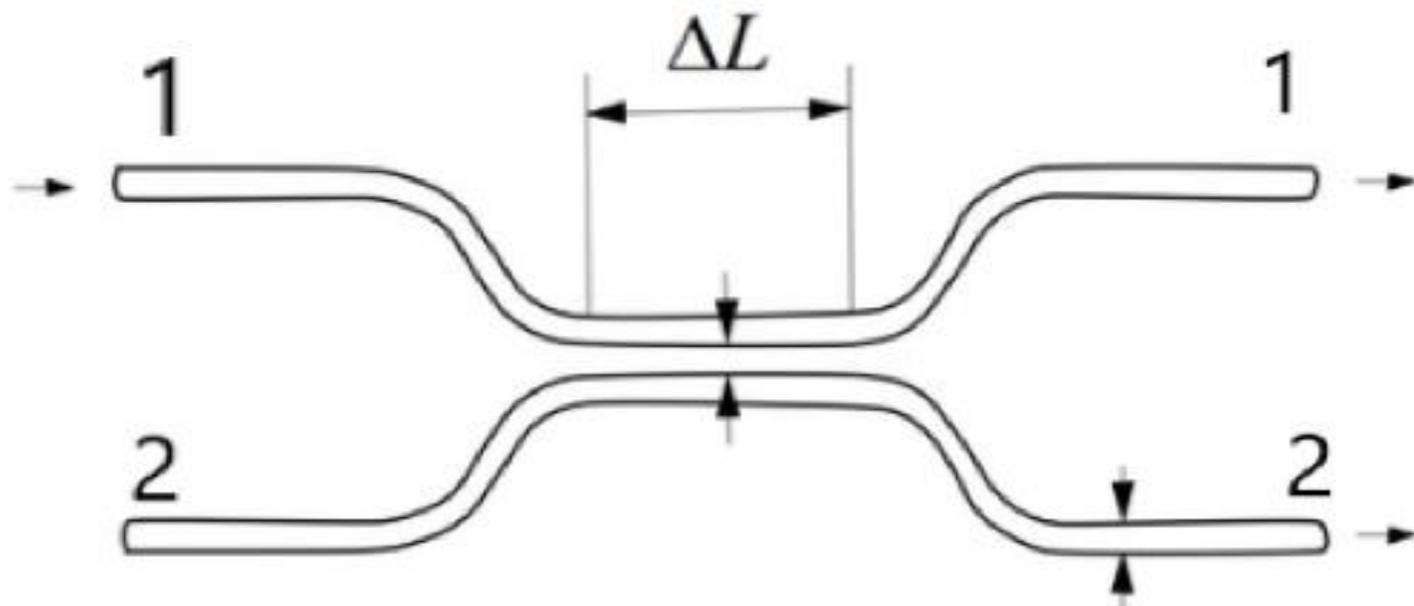


Рис. 1. Направленный ответвитель

$$H_{dc} = \begin{pmatrix} c & -js \\ -js & c \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$c = \sqrt{1 - \kappa}, \quad s = \sqrt{\kappa}.$$

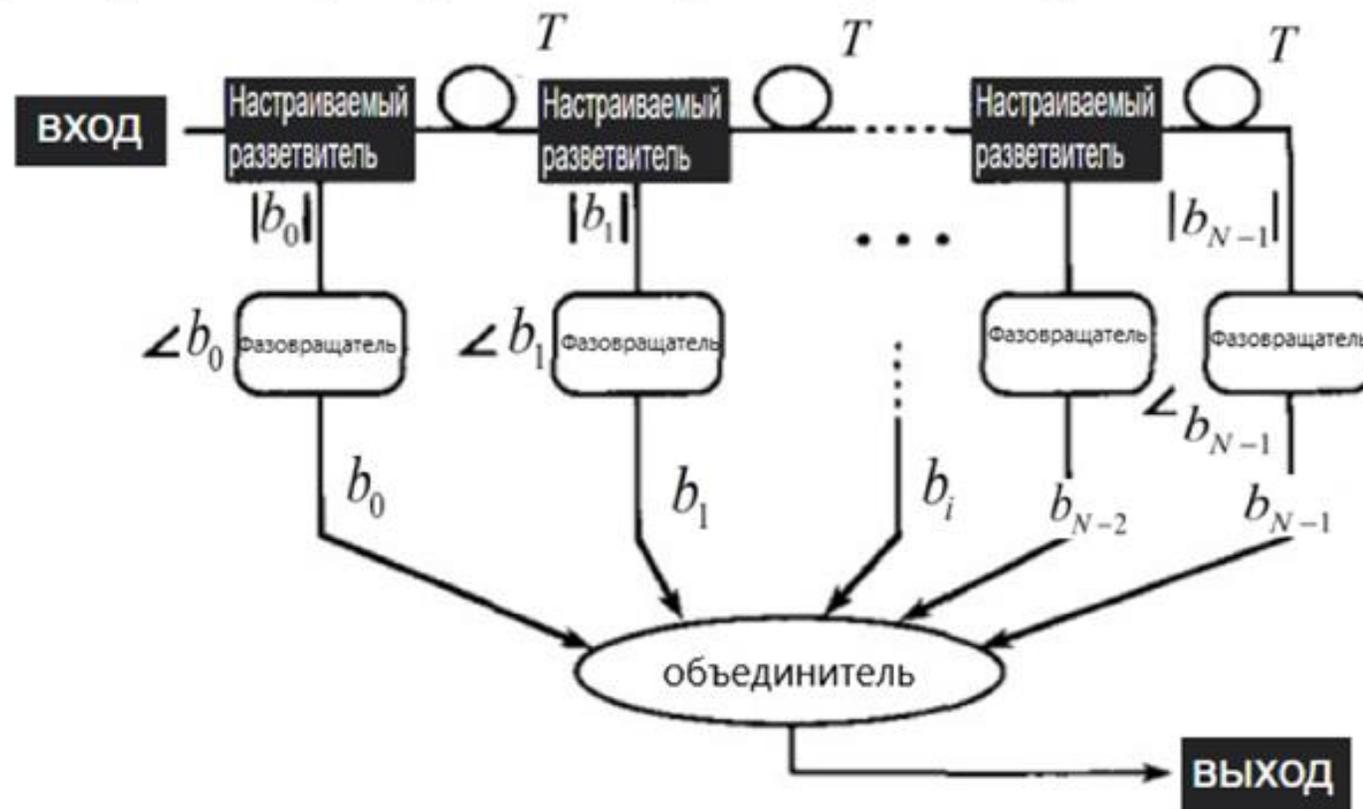


Рис.2. Трансверсальный фильтр

$$E_0 = A e^{j\omega t} \quad (2)$$

$$E_i = b_i e^{j(\omega t - \beta_i \Delta L)} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\omega}{v} \quad (4)$$

$$\beta i \Delta L = i \omega \frac{\Delta L}{v} = i \omega T \quad (5)$$

$$E_i = b_i e^{j\omega(t-iT)} \quad (6)$$

$$z^{-1} = e^{-j\omega T} \quad (7)$$

$$\omega' = \omega T \quad (8)$$

$$z^{-1} = e^{-j\omega'} \quad (9)$$

$$H(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{N-1} z^{-(N-1)} \quad (10)$$

$$\text{FSR} = \frac{1}{T} \quad (11)$$

$$n_g = n(f_0) + f_0 \left. \frac{dn}{df} \right|_{f=f_0} \quad (12)$$

f_0 – несущая частота, n – обычный показатель преломления.

$$b_0 = -js_0, \quad (13)$$

$$b_1 = -jc_0s_1, \quad (14)$$

$$b_2 = -jc_0c_1s_2, \quad (15)$$

$$b_{N-1} = -jc_0c_1 \dots c_{N-2}s_{N-1}. \quad (16)$$

$$\kappa_1 = \frac{\kappa_0 a_1}{a_0(1-\kappa_0)}, \dots, \kappa_{N-1} = \frac{\kappa_0 a_{N-1}}{a_0 \prod_{n=0}^{N-2} (1-\kappa_n)}, \quad (17)$$

где $a_i = |b_i|^2 / B$, B – максимальное значение квадрата модуля коэффициентов b_i .

$$\kappa_0 < \frac{a_0}{\sum_{n=0}^{N-1} a_n} \quad (18)$$

$T = 50$ пс. FSR = 20 ГГц. $f_c = 0,25$ FSR

$$b_0 : b_1 : b_3 : b_4 : b_5 : b_6 : b_7 : b_8 = \frac{1}{9} : \left(-\frac{1}{7}\right) : \left(-\frac{1}{5}\right) : \frac{1}{3} : 1 : 1 : \frac{1}{3} : \left(-\frac{1}{5}\right) : \left(-\frac{1}{7}\right) \quad (19)$$

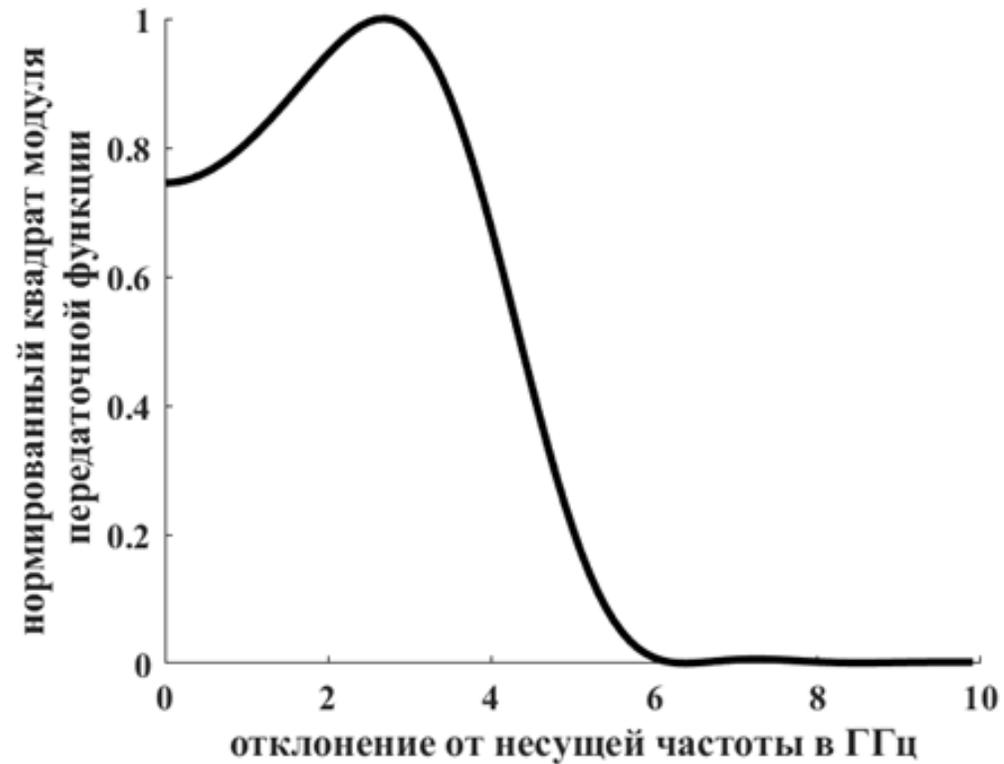


Рис. 3. Квадрат модуля передаточной функции МА-фильтра нижних частот.

Таблица 1. Коэффициенты связи ответвителей трансверсального фильтра

K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
0.005	0.008	0.015	0.044	0.411	0.698	0.256	0.124	0.072

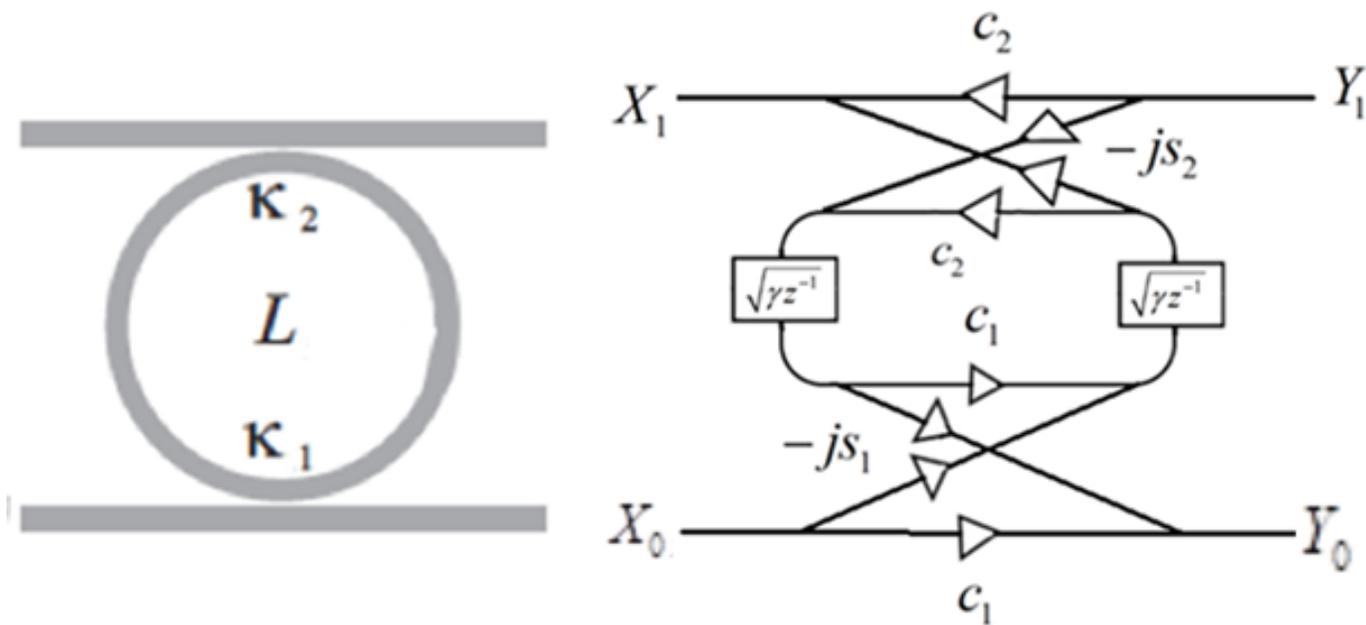


Рис. 4. Кольцевой волновод между двумя прямолинейными волноводами.

$$\begin{aligned} c_1 &= \sqrt{1 - \kappa_1}, & s_1 &= \sqrt{\kappa_1}, \\ c_2 &= \sqrt{1 - \kappa_2}, & s_2 &= \sqrt{\kappa_2}. \end{aligned} \quad (20)$$

$$z^{-1} = e^{-j\alpha l} \quad (21)$$

$$\gamma = e^{-\alpha l} \quad (22)$$

$$\begin{aligned}
Y_0 &= c_1 X_0 - js_1 c_2 \gamma z^{-1} (-js_1) X_0 - js_1 c_1 c_2^2 (\gamma z^{-1})^2 (-js_1) X_0 - \dots = \\
&= c_1 X_0 - s_1^2 c_2 \gamma z^{-1} [1 + c_1 c_2 \gamma z^{-1} + c_1^2 c_2^2 (\gamma z^{-1})^2 + \dots] X_0.
\end{aligned} \tag{23}$$

$$Y_0 = \frac{c_1 - c_2 \gamma z^{-1}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}} X_0 \tag{24}$$

$$H_{00}(z) = \frac{Y_0}{X_0} = \frac{c_1 - c_2 \gamma z^{-1}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}} \tag{25}$$

$$\begin{aligned}
Y_1 &= -js_1 \sqrt{\gamma z^{-1}} (-js_2) X_0 - js_1 (\gamma z^{-1})^{3/2} c_1 c_2 (-js_2) X_0 - \\
&- js_1 (\gamma z^{-1})^{5/2} c_1^2 c_2^2 (-js_2) X_0 - \dots = \\
&= -s_1 s_2 \sqrt{\gamma z^{-1}} [1 + c_1 c_2 \gamma z^{-1} + c_1^2 c_2^2 (\gamma z^{-1})^2 + \dots] X_0.
\end{aligned} \tag{26}$$

$$Y_1 = \frac{-s_1 s_2 \sqrt{\gamma z^{-1}}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}} X_0 \tag{27}$$

$$H_{10}(z) = \frac{Y_1}{X_0} = \frac{-s_1 s_2 \sqrt{\gamma z^{-1}}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}} \quad (28)$$

$$H_{01}(z) = \frac{Y_0}{X_1} = H_{10}(z), \quad (29)$$

$$H_{11}(z) = \frac{Y_1}{X_1} = \frac{c_2 - c_1 \gamma z^{-1}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}} \quad (30)$$

$$\gamma z^{-1} \quad \rightarrow \quad \gamma e^{-j\phi} z^{-1}$$

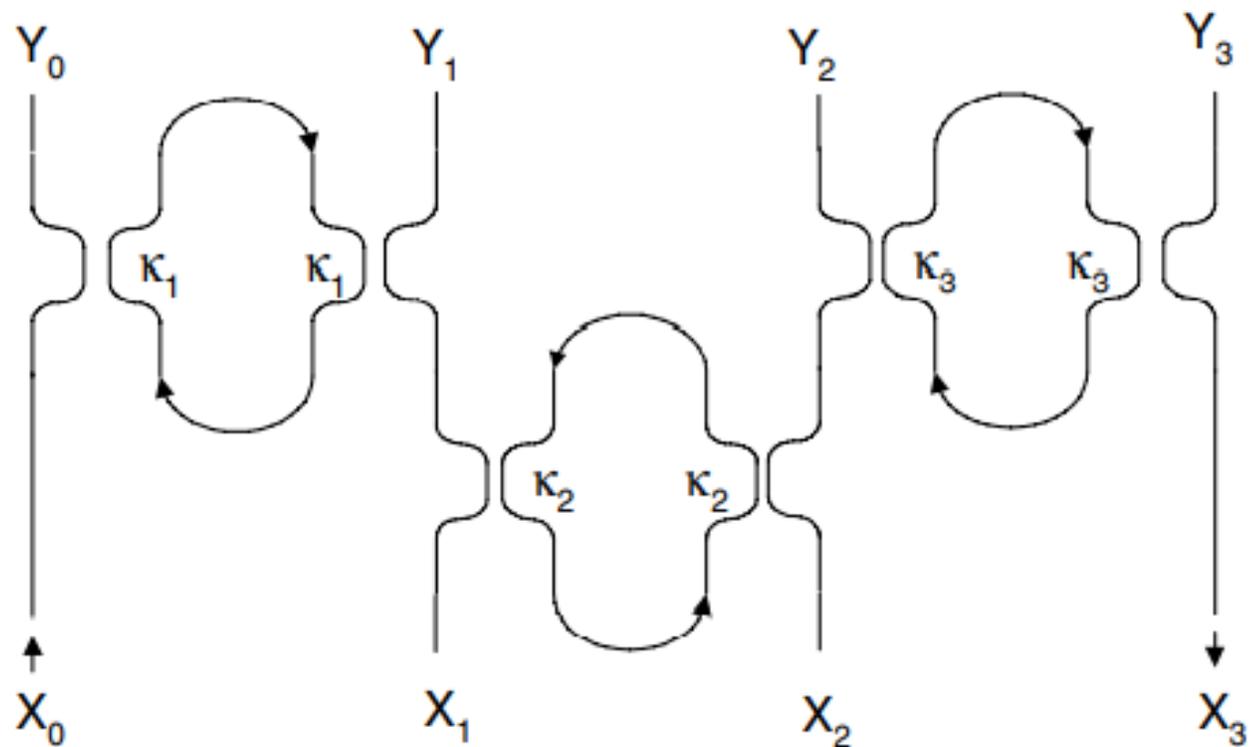


Рис. 5. Схема AR каскадного фильтра, использующего кольцевые волноводы.

$$H(z) = \prod_{n=1}^N \left\{ \frac{-s_n \sqrt{\gamma e^{-j\phi_n} z^{-1}}}{1 - c_n^2 \gamma e^{-j\phi_n} z^{-1}} \right\} \quad (31)$$

$$p_n = c_n \gamma e^{-j\phi_n} \quad (32)$$

$$N = 4 \quad \varepsilon = 0,043 \text{ дБ}, \quad f_c = 0,1 \text{ FSR}.$$

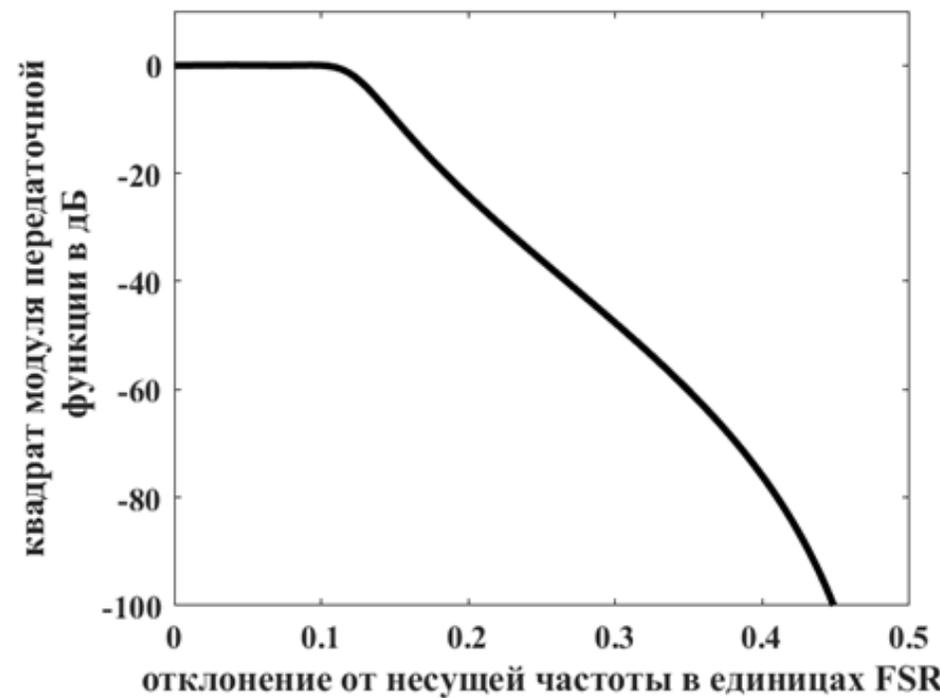


Рис. 6. Квадрат модуля передаточной функции цифрового нижних частот фильтра Чебышева 1-го рода.

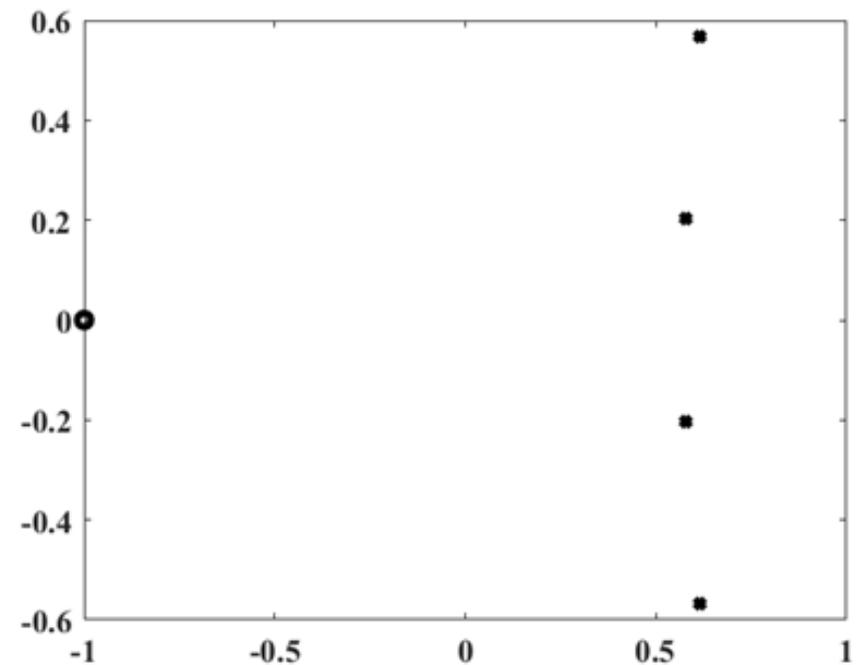


Рис. 7. Нуль и полюса передаточной функции цифрового фильтра нижних частот Чебышева 1-го рода.

Таблица 2. Коэффициенты связи ответвителей и сдвиги фаз. Коэффициент потерь $\gamma = 0$ дБ (потери отсутствуют)

коэффициенты связи	сдвиги фаз в радианах
0,299	-0.748
0,299	0.748
0,625	-0.339
0,625	0.339

Таблица 3. Коэффициенты связи ответвителей и сдвиги фаз. Коэффициент потерь $\gamma = -0.5$ дБ

коэффициенты связи	сдвиги фаз в радианах
0,118	-0.748
0,118	0.748
0,528	-0.339
0,528	0.339

$$(-1)^N \prod_{n=1}^N \sqrt{\gamma \kappa_n e^{-j\theta_n} z^{-1}} \quad (33)$$

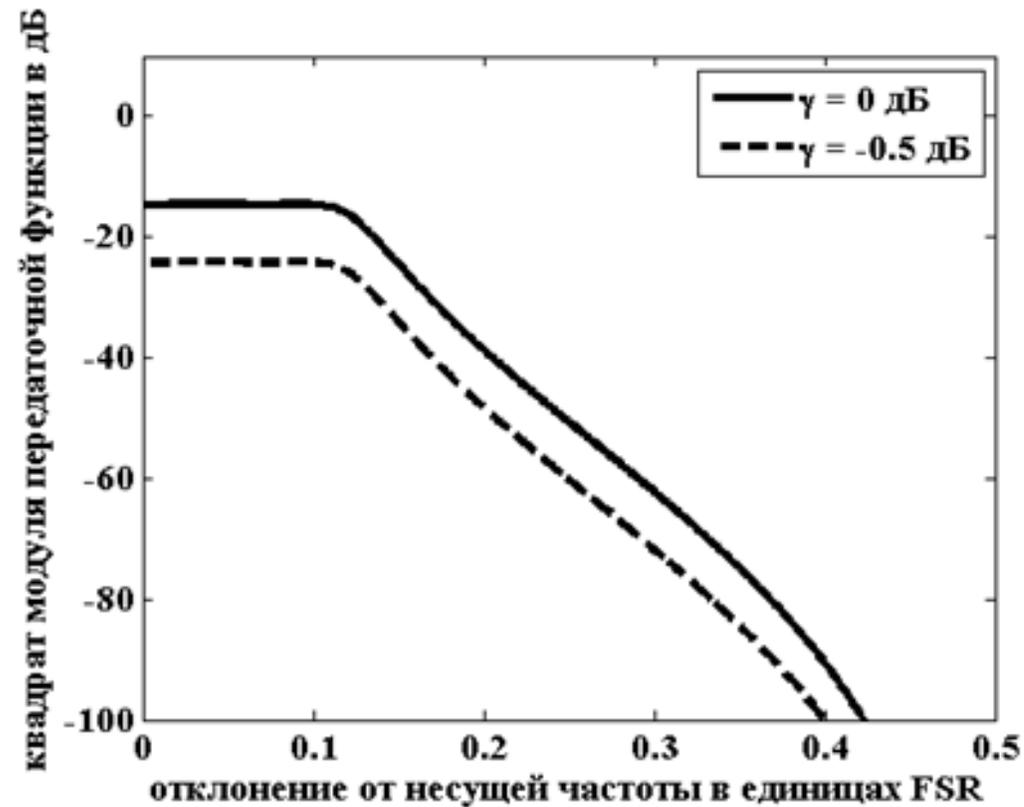


Рис. 8. Квадрат модуля передаточной функции оптического AR-фильтра при двух значениях коэффициента потерь.

Заключение

В ходе выполнения работы

1. Изучено устройство оптического MA-фильтра скользящего среднего и оптического AR-фильтра, содержащего кольцевые волноводы.
2. Рассчитаны передаточные характеристики этих фильтров.

Список литературы

- [1] Christi K. Madsen, Jianh. Zhao. Optical Filter Design and Analysis. A Signal Processing Approach. New York.: JOHN WILEY & SONS, INC., 1999.
- [2] Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
- [3] Хаспенджер Р. Интегральная оптика: Теория и технология. М.: Мир, 1985.
- [4] Chris G. H. Roeloffzen, Leimeng Zhuang, Caterina Taddei, Arne Leinse, Rene G. Heideman, Paulus W. L. van Dijk, Ruud M. Oldenbeuving, David A. I. Marpaung, Maurizio Burla, and Klaus -J. Boller. Silicon nitride microwave photonic circuits//OPTICS EXPRESS. 2013. V. 21. №19. P. 22937-22961.