

# **Основные элементы устройств микроволновой фотоники**

**Научный руководитель**

**Болецкая Татьяна Константиновна**


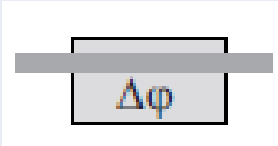
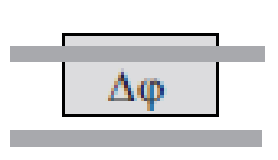
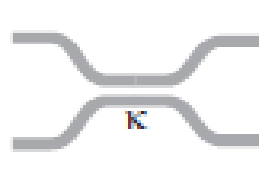

**Выполнил студент гр. ФРМ – 101**

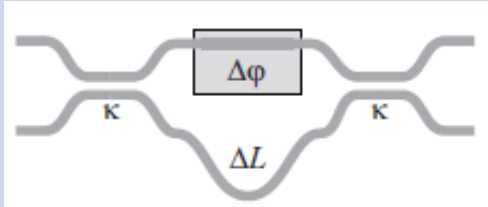
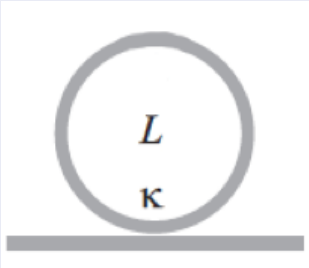
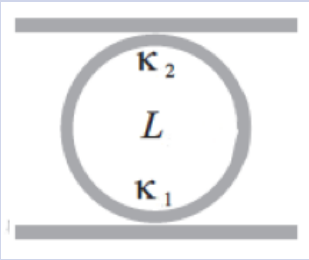
**Калита Александр Сергеевич**

**Цель работы – изучение устройств для обработки оптических сигналов.**

**• Для достижения этой цели нужно решить следующие задачи:**

1. Изучить литературу, посвященную этой теме.
2. Рассчитать характеристики интерферометра Маха-Цендера и кольцевого резонатора.

Название элемента	Изображение элемента на схеме	Передаточная матрица
Волновод (1x1)		$H_{te} = e^{-j\Delta\varphi}$
Элемент вносящий изменение фазы в оптический сигнал (1x1)		$H_{wg} = \gamma z^{-1}$
Два несвязанных волновода (2x2)		$H_{2wg} = \begin{pmatrix} e^{-j\Delta\varphi} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
Направленный ответвитель (2x2)		$H_{dc} = \begin{pmatrix} c & -js \\ -js & c \end{pmatrix}$
Симметричный интерферометр Цендера (2x2)	Маха- 	$H_{MZI} = \begin{bmatrix} -s^2 + c^2 e^{-j\Delta\varphi} & -jsc(1 + e^{-j\Delta\varphi}) \\ -jsc(1 + e^{-j\Delta\varphi}) & -c^2 - s^2 e^{-j\Delta\varphi} \end{bmatrix}$

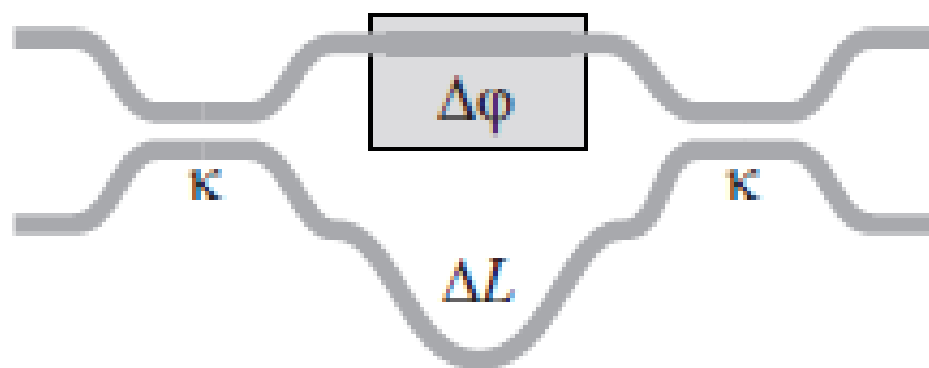
Название элемента	Изображение элемента на схеме	Передаточная матрица
<p>Асимметричный интерферометр Маха-Цендера (2x2)</p>		$H_{AMZI} = \begin{bmatrix} -s^2 \gamma_{\Delta L} z^{-1} + c^2 e^{-j\Delta\varphi} & -jsc(e^{-j\Delta\varphi} + \gamma_{\Delta L} z^{-1}) \\ -jsc(e^{-j\Delta\varphi} + \gamma_{\Delta L} z^{-1}) & c^2 e^{-j\Delta\varphi} - s^2 \gamma_{\Delta L} z^{-1} \end{bmatrix}$
<p>Кольцевой резонатор (1x1)</p>		$H_r(z) = \frac{c^2 - \gamma z^{-1}}{1 - c\gamma z^{-1}}$
<p>Кольцевой резонатор (2x2)</p>		$H_{11}(z) = \frac{c_1 - c_2 \gamma z^{-1}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}}$ $H_{21}(z) = \frac{-s_1 s_2 \sqrt{\gamma z^{-1}}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}}$

$L_u$  – стандартная длина

$$z^{-1} = e^{-j\beta L_u}$$

$$-20 \lg \gamma_{L_u} = \alpha L_u$$

# Интерферометр Маха-Цендера



$$H_{AMZI} = H_{dc} H_{dd} H_{dc} \quad (1)$$

$$H_{dc} = \begin{pmatrix} c & -js \\ -js & c \end{pmatrix}, \quad (2)$$
$$c = \sqrt{1-\kappa}, \quad s = \sqrt{\kappa},$$

$$H_{dd} = \gamma_{L_2} e^{-j\beta L_2} \begin{pmatrix} e^{-j\Delta\varphi} & 0 \\ 0 & \gamma_{L_u} e^{-j\beta L_u} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$H_{AMZI} = \begin{pmatrix} c^2 e^{-j\Delta\varphi} - s^2 \gamma_{L_u} z^{-1} & -jcs(e^{-j\Delta\varphi} + \gamma_{L_u} z^{-1}) \\ -jcs(e^{-j\Delta\varphi} + \gamma_{L_u} z^{-1}) & c^2 e^{-j\Delta\varphi} - s^2 \gamma_{L_u} z^{-1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

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

$$z^{-1} = e^{-j\beta L_u} = e^{-j\omega'}$$

$$\omega' = \omega T$$

$$T = \frac{L_u n_g}{c}$$

$$n_g(\omega) = n(\omega) + \omega \frac{dn}{d\omega}$$

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = H_{AMZI} \begin{pmatrix} X(z) \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$Y_1(z) = c^2 e^{-j\Delta\varphi} - s^2 \gamma_{L_u} z^{-1} \quad (5)$$

$$Y_2(z) = -jcs(e^{-j\Delta\varphi} + \gamma_{L_u} z^{-1}) \quad (6)$$

$$\tau_{g1} = -\frac{d}{d\omega'} \arg Y_1 \quad (7)$$

$$\tau_{g2} = -\frac{d}{d\omega'} \arg Y_2 \quad (8)$$



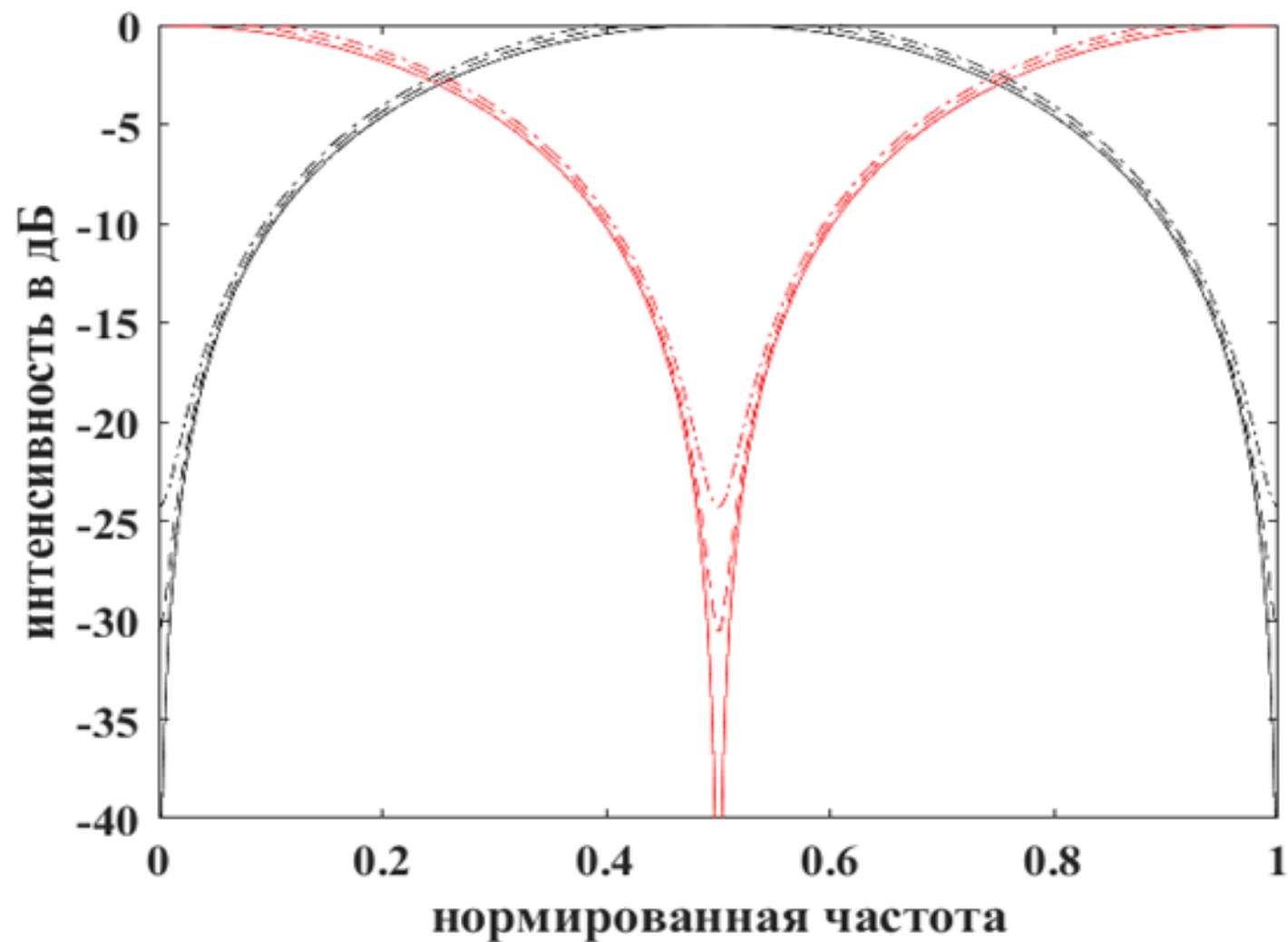


Рис. 1. Графики зависимостей от нормированной частоты интенсивностей волн, выходящих из плечей интерферометра. Черные кривые – графики  $Y_1$  (bar-компонента), красные кривые – графики  $Y_2$  (cross-компонента). Сплошные кривые –  $\gamma_{L_x} = 0$ , пунктирные кривые –  $\gamma_{L_x} = 0.5$  дБ, штрих-пунктирные кривые  $\gamma_{L_x} = 1$  дБ.

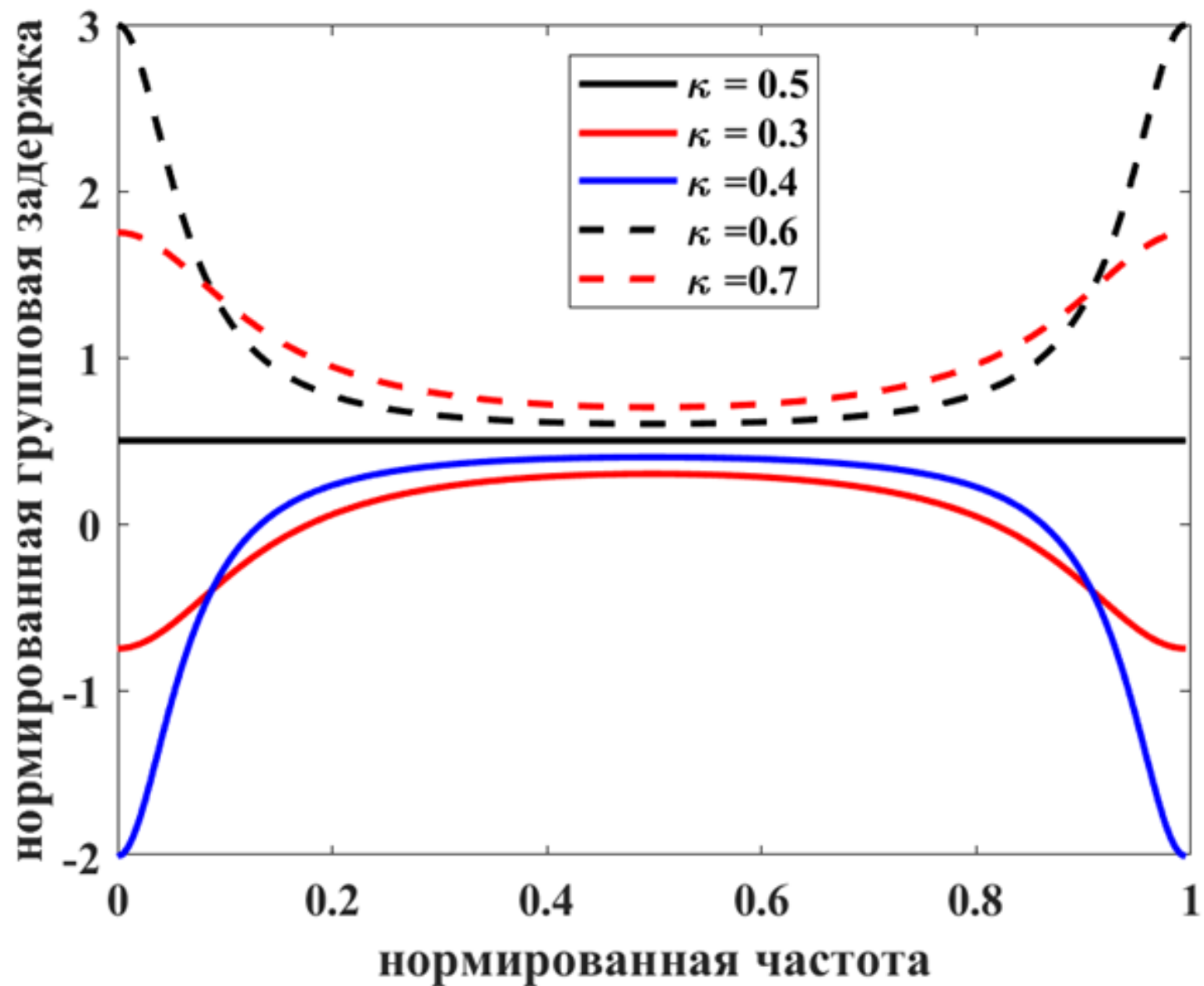


Рис. 2. Зависимость групповой задержки ваг-компоненты от частоты при нескольких значениях коэффициента связи  $\kappa$ .

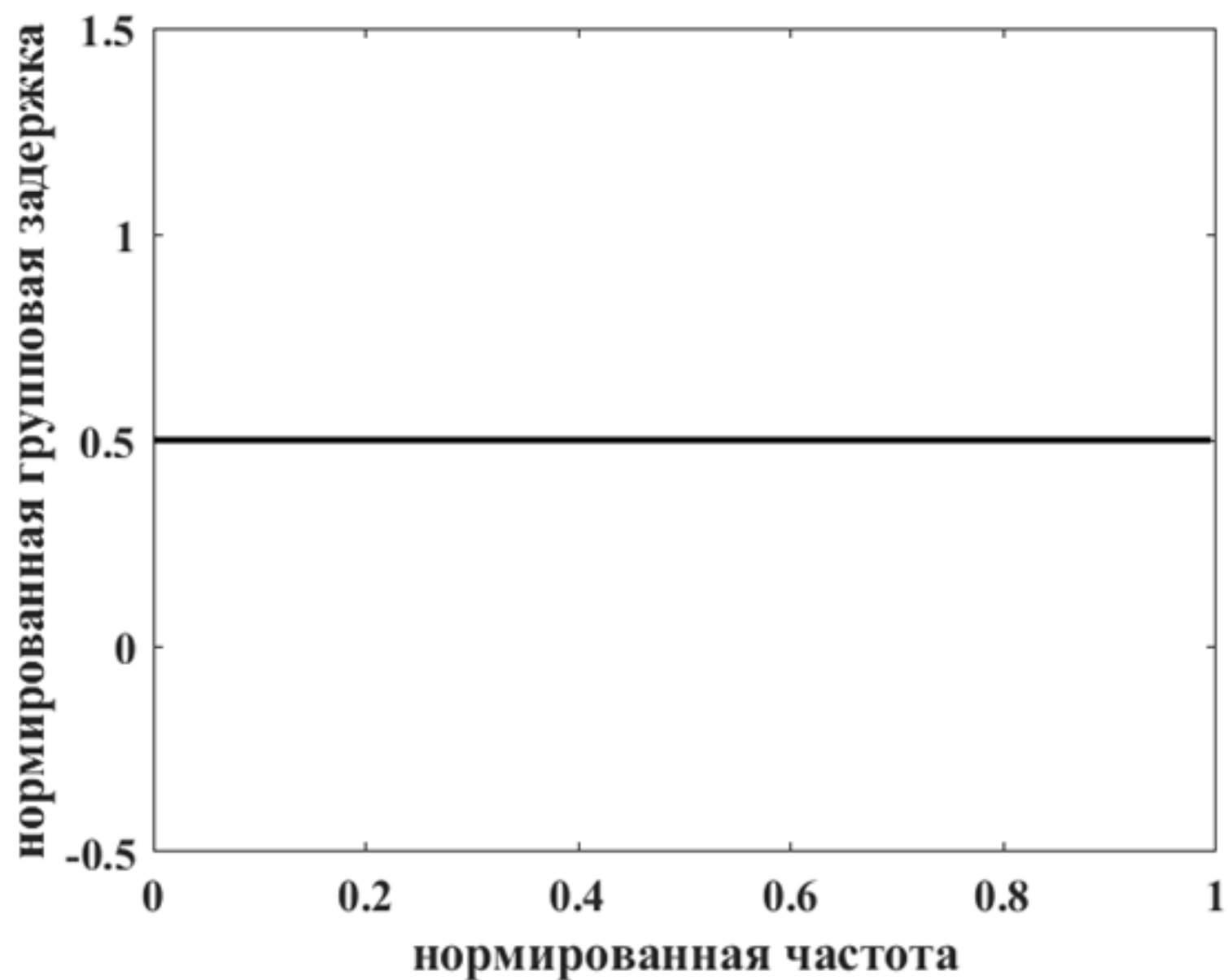


Рис. 3. Зависимость групповой задержки cross-компоненты от частоты.

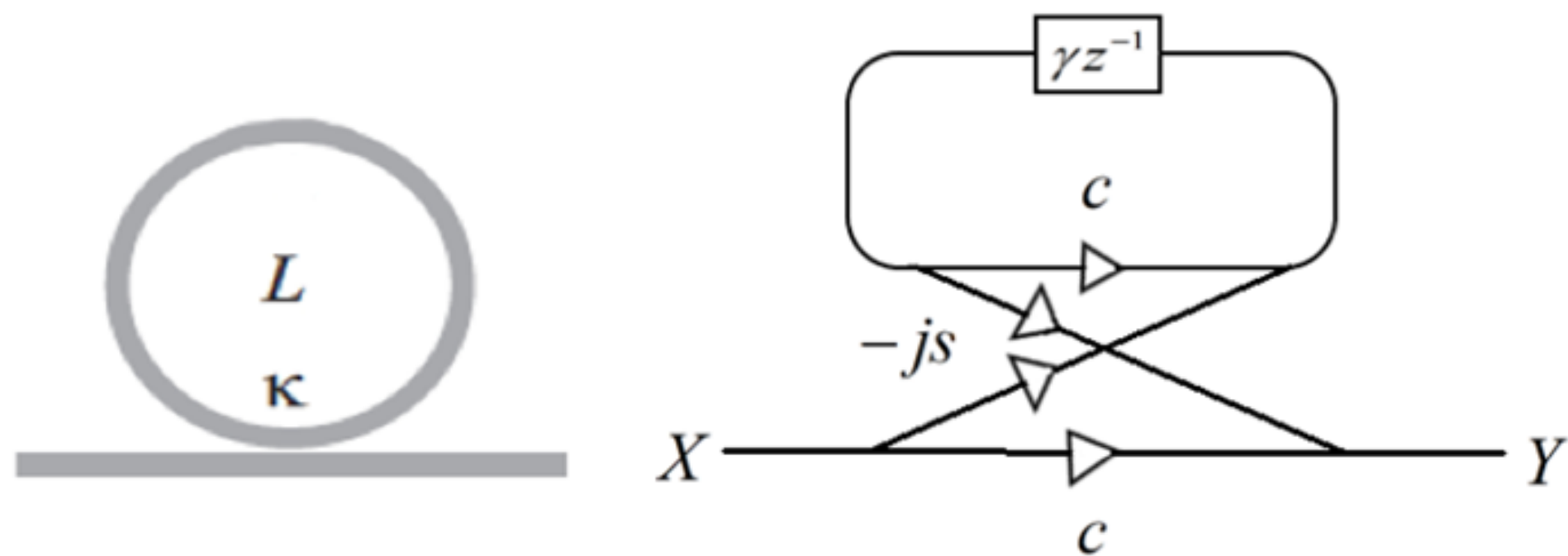


Рис. 4. Кольцевой резонатор с одним входом и одним выходом

$$Y = \frac{c - \gamma z^{-1}}{1 - c\gamma z^{-1}} X. \quad (9)$$

$$z^{-1} = e^{-j\beta L_u} = e^{-j\omega'},$$

$$H_r(z) = \frac{Y}{X} = \frac{c - \gamma z^{-1}}{1 - c\gamma z^{-1}} \quad (10)$$

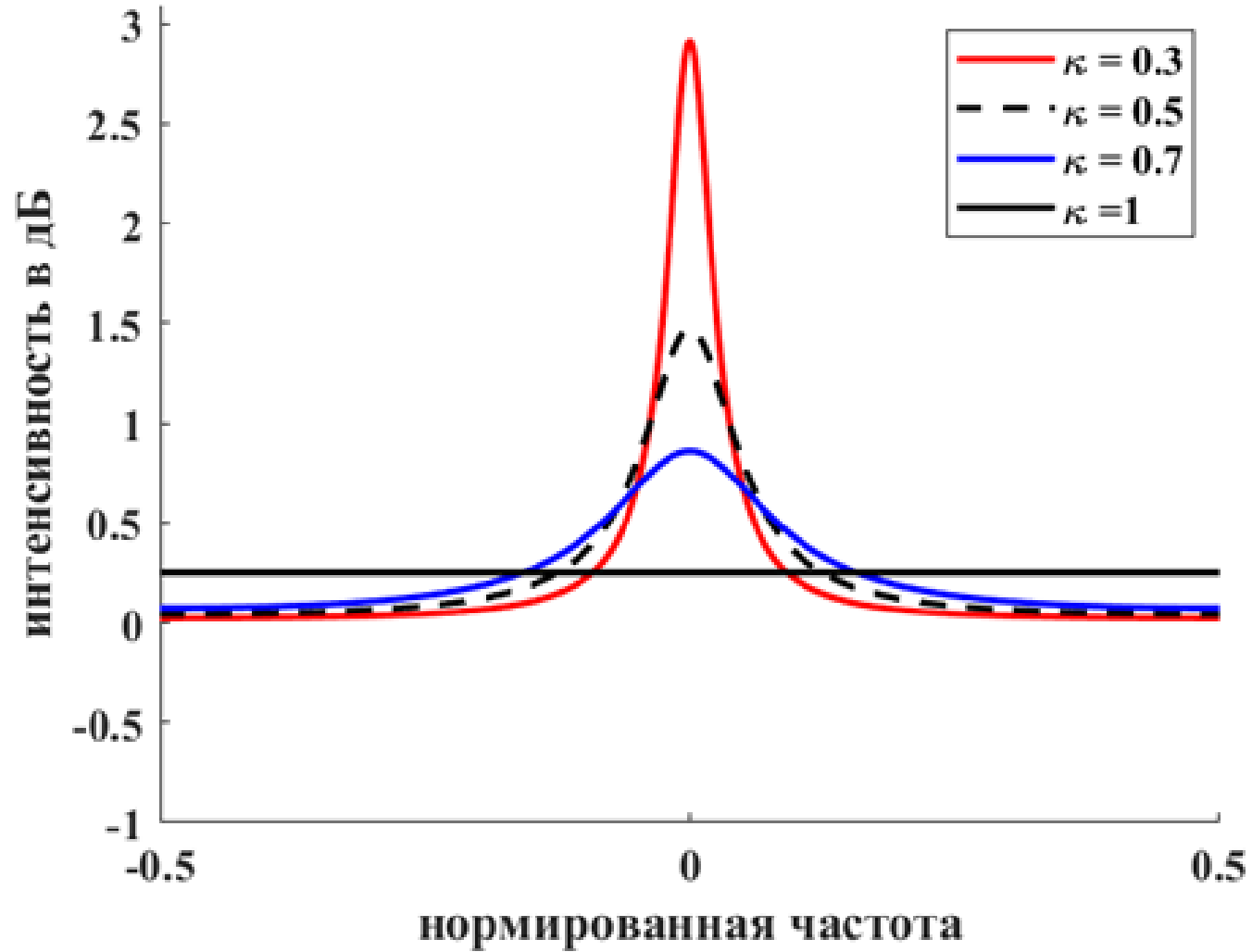


Рис. 5. Зависимости от частоты интенсивности на выходе кольцевого резонатора с одним входом с одним выходом при различных коэффициентах связи.

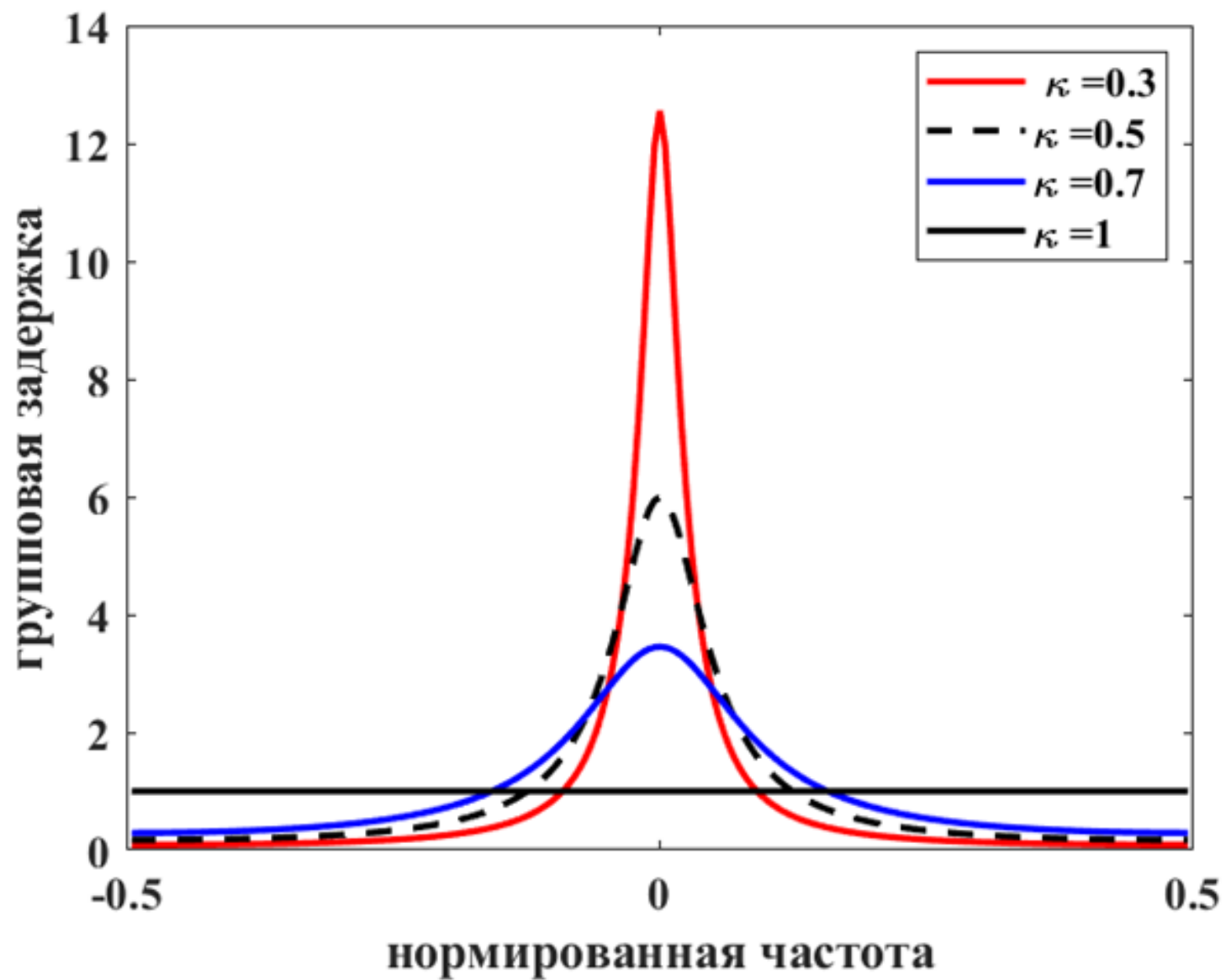


Рис. 6. Зависимости от частоты групповой задержки кольцевого резонатора с одним входом с одним выходом при различных коэффициентах связи.

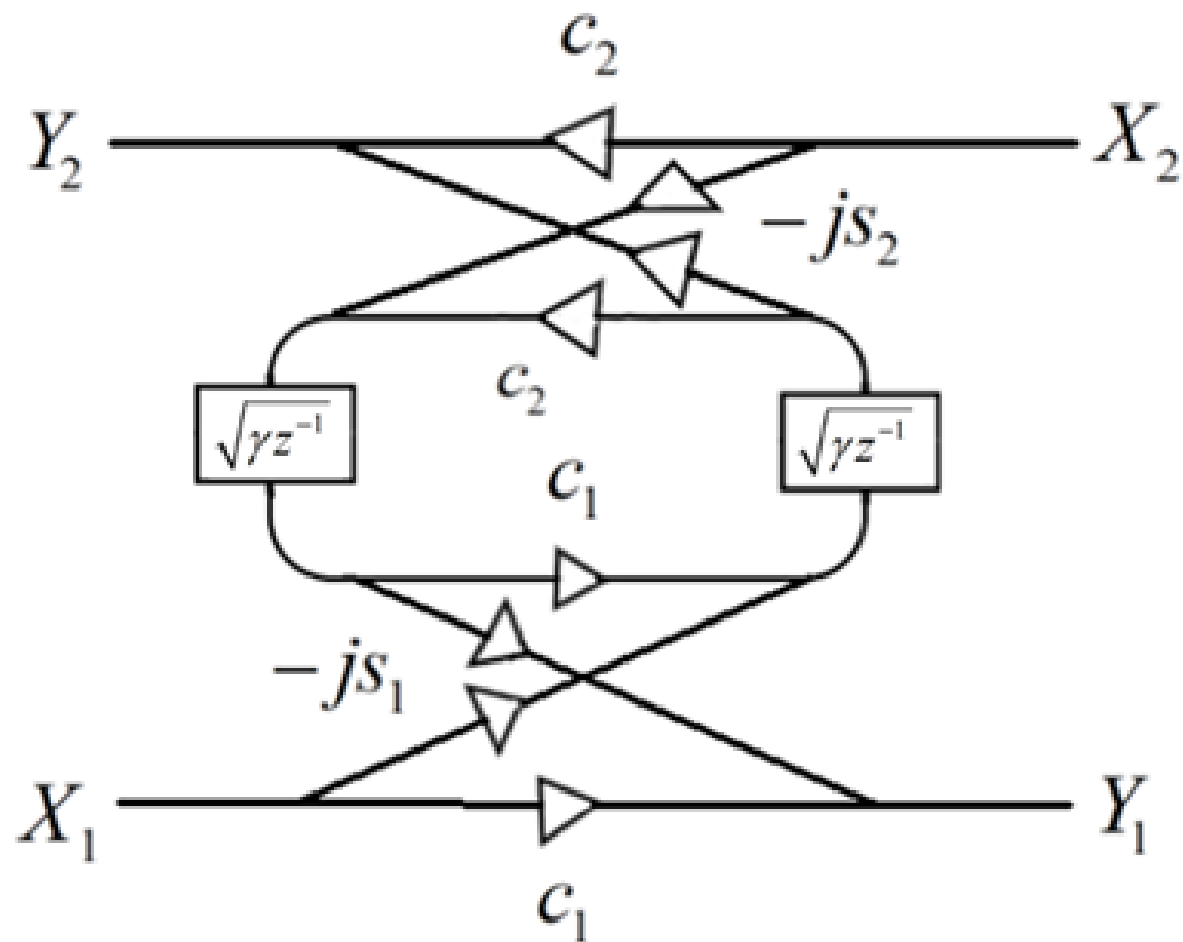
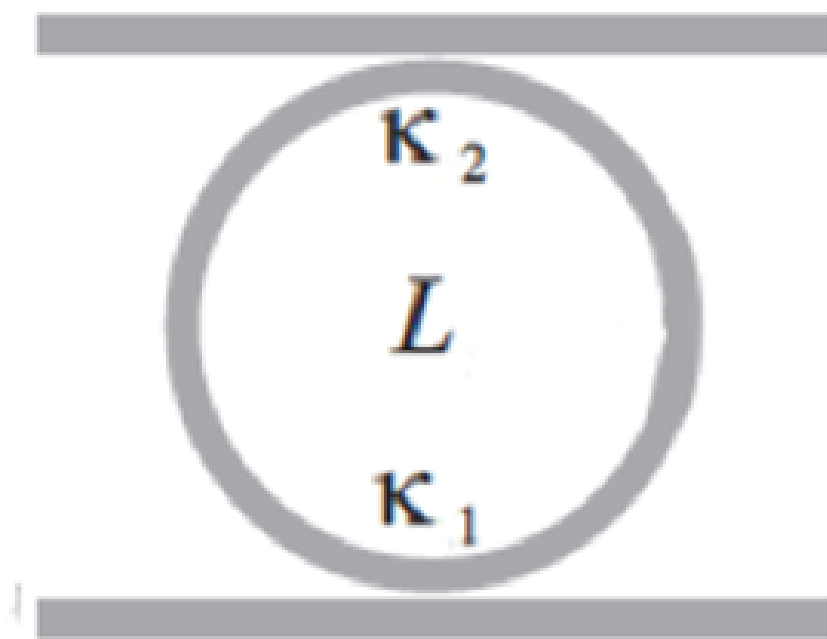


Рис. 7. Кольцевой резонатор с двумя входами и двумя выходами



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

$$H_{21}(z) = \frac{Y_2}{X_1} = \frac{-s_1 s_2 \sqrt{\gamma z^{-1}}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}} \quad (12)$$

$$H_{12}(z) = \frac{Y_1}{X_2} = H_{21}(z) \quad (13)$$

$$H_{22}(z) = \frac{Y_2}{X_2} = \frac{c_2 - c_1 \gamma z^{-1}}{1 - c_1 c_2 \gamma z^{-1}} \quad (14)$$

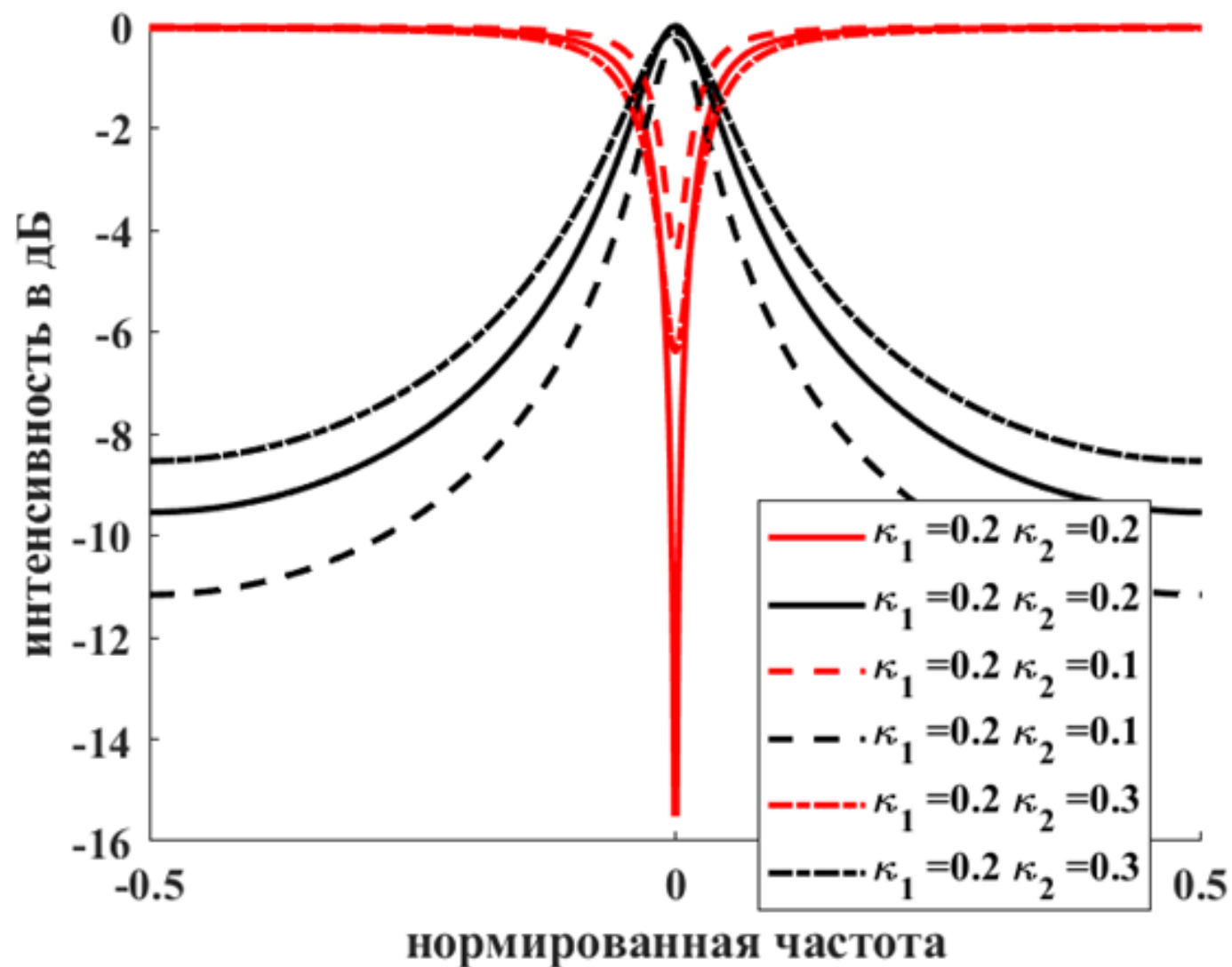


Рис. 8. Зависимости от частоты интенсивности на выходах кольцевого резонатора при нескольких значениях коэффициентов связи  $\kappa_1$  и  $\kappa_2$ . Черные кривые – интенсивности на первом выходе, красные кривые – интенсивности на втором выходе.

# Заключение

В ходе выполнения работы

1. Изучена литература, посвященная устройствам для обработки оптических сигналов.
2. Рассчитаны характеристики интерферометра Маха-Цендера и кольцевых резонаторов.

В дальнейшем предполагается изучить применение цифровых оптических фильтров в WDM (wavelength division multiplexed) (мультиплексирование с разделением по длине волны) оптических системах.

## 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.