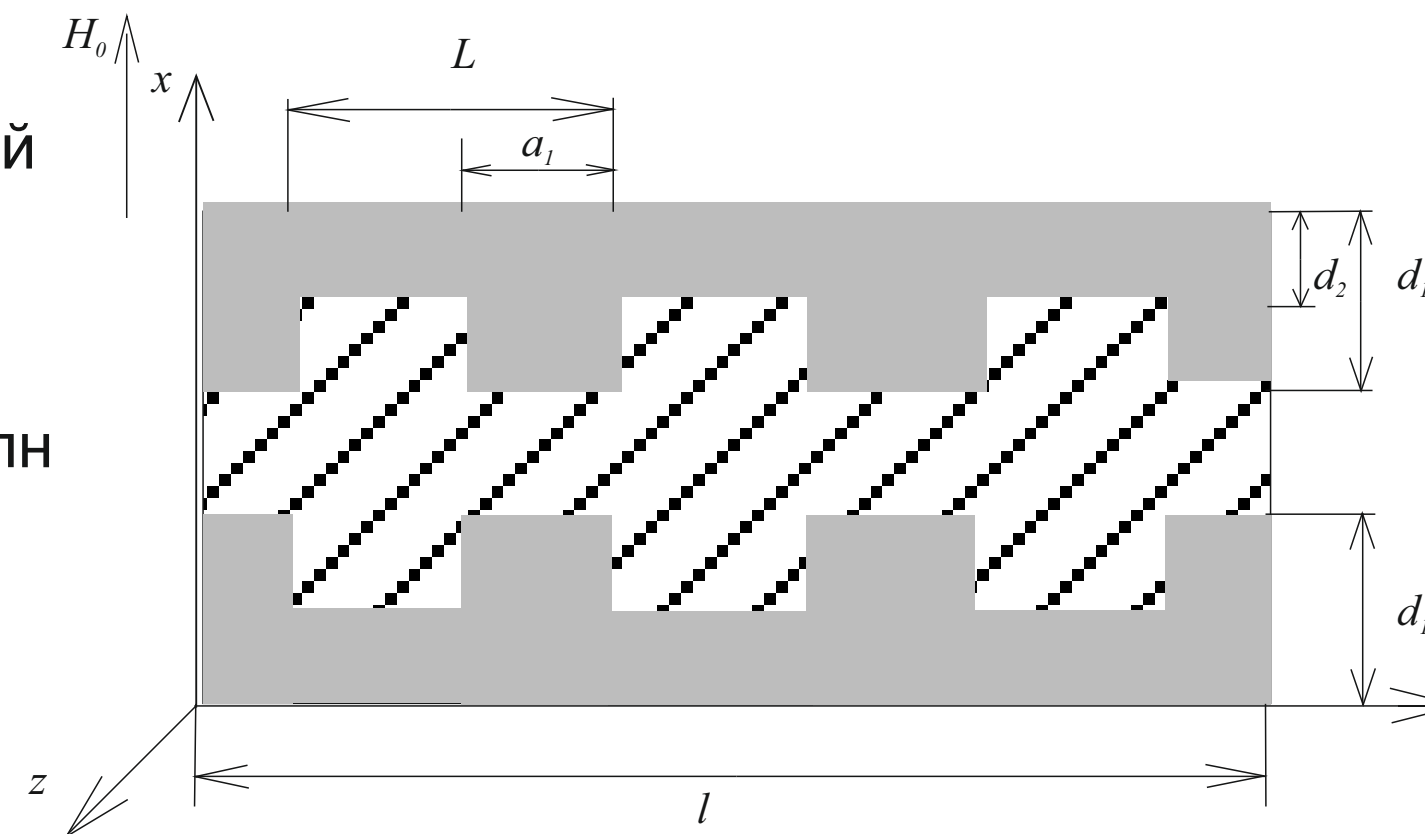


НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В СВЯЗАННЫХ МАГНОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

О. В. Матвеев, М. А. Морозова

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

Цель работы: построение математической модели в виде системы 4-х связанных нелинейных уравнений Шредингера для исследования особенностей распространения магнитостатических волн в структуре на основе связанных магнонных кристаллов



Исследуемая структура представляет собой два связанных магнонных кристалла толщиной d_0 и периодом L , разделенных диэлектрическим слоем толщины D

Особенностью связанных структур является возможность управления дисперсионными характеристиками МСВ

Модель

Уравнения движения вектора намагниченности для ПОМСВ в двух связанных однородных плёнках [1]

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 m_1}{\partial t^2} + \omega_H^2 m_1 + 2\omega_H \omega_M a |m_1|^2 m_1 - \\ - \frac{\omega_H \omega_M d}{2k} \left(1 - a \left(1 - \frac{\omega_M}{\omega_H}\right) |m_1|^2\right) \frac{\partial^2}{\partial y^2} (m_1 + K m_2) = 0, \\ \frac{\partial^2 m_2}{\partial t^2} + \omega_H^2 m_2 + 2\omega_H \omega_M a |m_2|^2 m_2 - \\ - \frac{\omega_H \omega_M d}{2k} \left(1 - a \left(1 - \frac{\omega_M}{\omega_H}\right) |m_2|^2\right) \frac{\partial^2}{\partial y^2} (m_2 + K m_1) = 0. \end{cases}$$

где $m_{1,2}$ - высокочастотные составляющие вектора намагниченности, $\omega_H = \gamma H_0$, $\omega_M = 4\pi\gamma M_0$, H_0 - напряженность внешнего магнитного поля, M_0 - намагниченность насыщения, $K = e^{-kD}$, $K \in [0,1]$ - коэффициент связи

Учтем:

1. Переменная толщина пленки: $d = d_0 \left(1 + \delta d \cos\left(\frac{2\pi}{L} y\right)\right)$,

2. Метод связанных волн [2]: $m_{1,2} = A_{1,2} e^{i(\omega t - k_+ y)} + B_{1,2} e^{i(\omega t + k_- y)}$

где $A_{1,2}$, $B_{1,2}$ - амплитуды огибающих прямых/встречных волн, k_{\pm} - постоянные распространения прямых/встречных волн, связаны соотношением Брэгга: $k_+ = -k_- + 2k_B$, где $k_B = \frac{\pi}{L}$

Система нелинейных уравнений Шредингера для амплитуд огибающих

$$\begin{cases} i \left(\frac{\partial A_1}{\partial t} + V_g \frac{\partial A_1}{\partial y} \right) + \eta A_1 + \chi A_2 + \kappa B_1 + \chi_i B_2 + \gamma (|A_1|^2 + 2|B_2|^2) A_1 = 0, \\ i \left(\frac{\partial B_1}{\partial t} - V_g \frac{\partial B_1}{\partial y} \right) + \eta B_1 + \chi B_2 + \kappa A_1 + \chi_i A_2 + \gamma (|B_2|^2 + 2|A_1|^2) B_1 = 0, \\ i \left(\frac{\partial A_2}{\partial t} + V_g \frac{\partial A_2}{\partial y} \right) + \eta A_2 + \chi A_1 + \kappa B_2 + \chi_i B_1 + \gamma (|A_1|^2 + 2|B_2|^2) A_2 = 0, \\ i \left(\frac{\partial B_2}{\partial t} - V_g \frac{\partial B_2}{\partial y} \right) + \eta B_2 + \chi B_1 + \kappa A_2 + \chi_i A_1 + \gamma (|B_2|^2 + 2|A_1|^2) B_2 = 0. \end{cases}$$

где $V_g = \frac{\omega_H \omega_M d_0}{2\omega}$ - групповая скорость, $\kappa = \frac{\delta d V_g k_B}{2}$ - коэффициент связи между волнами в одном МК,

$\chi = \frac{V_g k_B}{2} K$ - коэффициент связи между прямыми волнами в МК1 и МК2, $\chi_i = \frac{K \delta d V_g k_B}{2}$ - коэффициент связи между встречными волнами в МК1 и МК2

$\gamma = \left(1 - \frac{\omega_M}{\omega_H}\right) \frac{V_g k_B}{2} + \frac{\omega_H \omega_M a}{\omega}$ - коэффициент нелинейности,

$\omega_B = \sqrt{\omega_H^2 + \frac{\omega_H \omega_M k_B d_0}{2}}$ - частота волны Брэгга, $\eta = \omega_B - \omega$ - отстройка от частоты Брэгга

Начальные и граничные условия

$$\begin{cases} A_1(y, 0) = 0, \\ B_1(y, 0) = 0; \end{cases} \quad \begin{cases} A_1(0, t) = A_{01} \exp\left(-\frac{8(t-t_0)^4}{T_0^4}\right), \\ A_2(0, t) = 0, \\ B_{1,2}(L, t) = 0. \end{cases}$$

Выводы:

- Моделью для описания структуры из двух связанных МК является система четырех связанных нелинейных уравнений Шредингера
- В структуре наблюдается эффект нелинейного переключения в зависимости от амплитуды входного сигнала
- Структура обладает зависимостью пропускающих свойств от значения связи между МК.

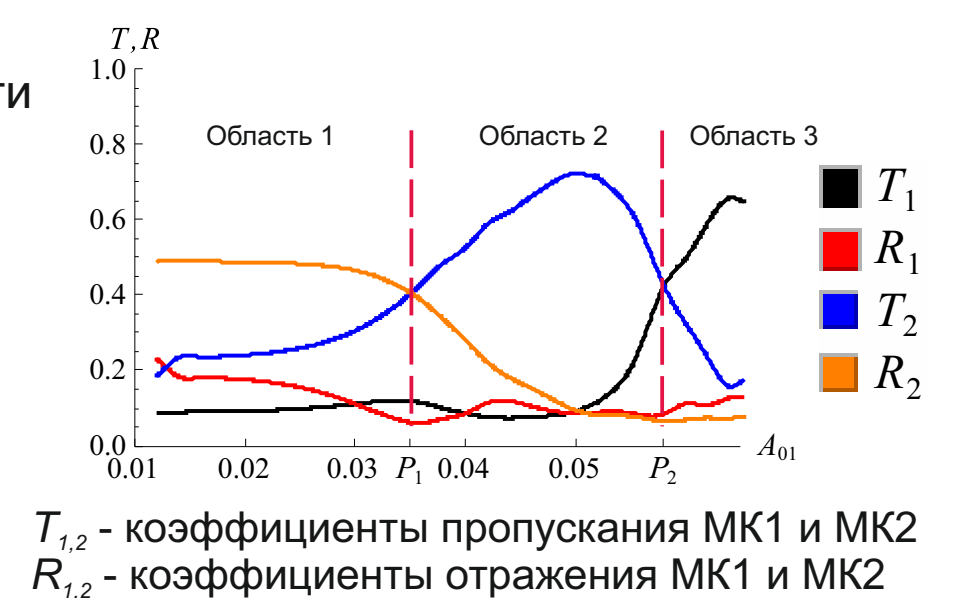
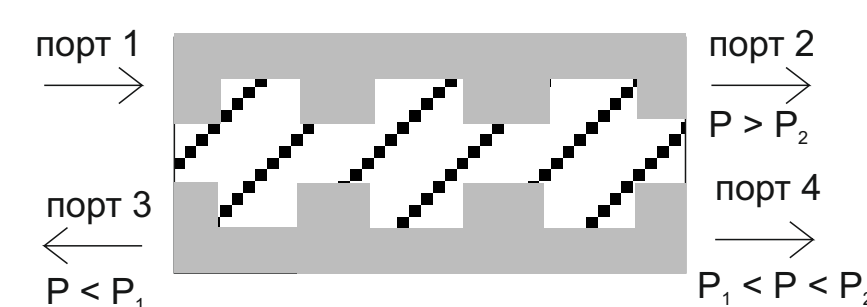
Ссылки:

1. Шараевский Ю.П., Морозова М.А., Гришин С.В. Гл.11 в кн. Методы нелинейной динамики теории хаоса в задачах электроники СВЧ. Т. 2. М.: Физматлит, 2009.
2. Кившарь Ю.С., Агравал Г. П. Оптические солитоны. От волоконных световодов до фотонных кристаллов / Пер. с англ. под ред. Н. Н. Розанова. М.: Физматлит, 2005

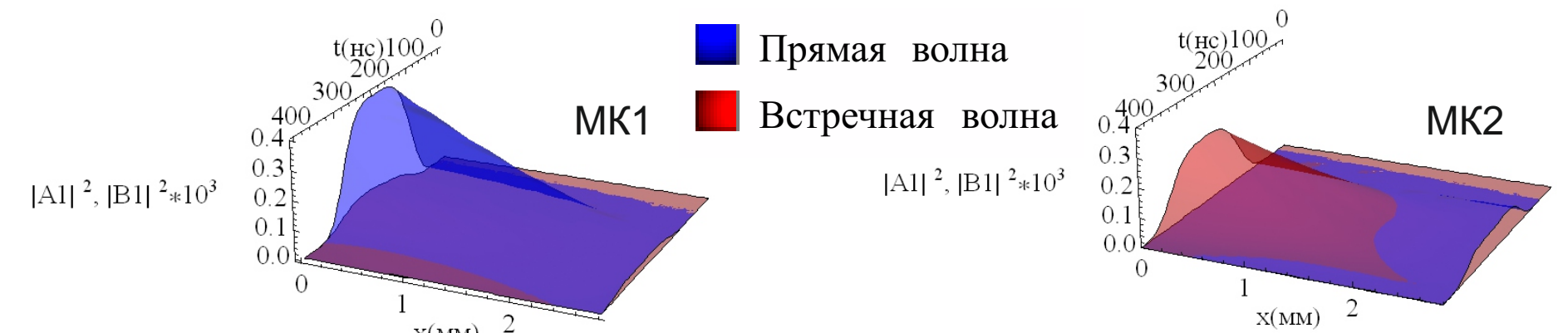
Результаты численного исследования

Эффект нелинейного переключения

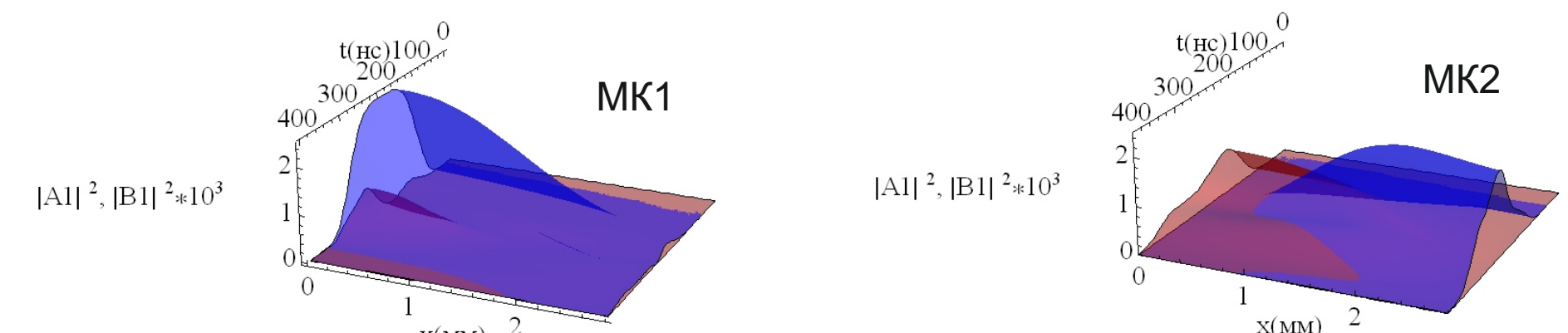
В структуре, в зависимости от амплитуды входного сигнала, большая часть мощности выходит через один из четырех портов связанной структуры.



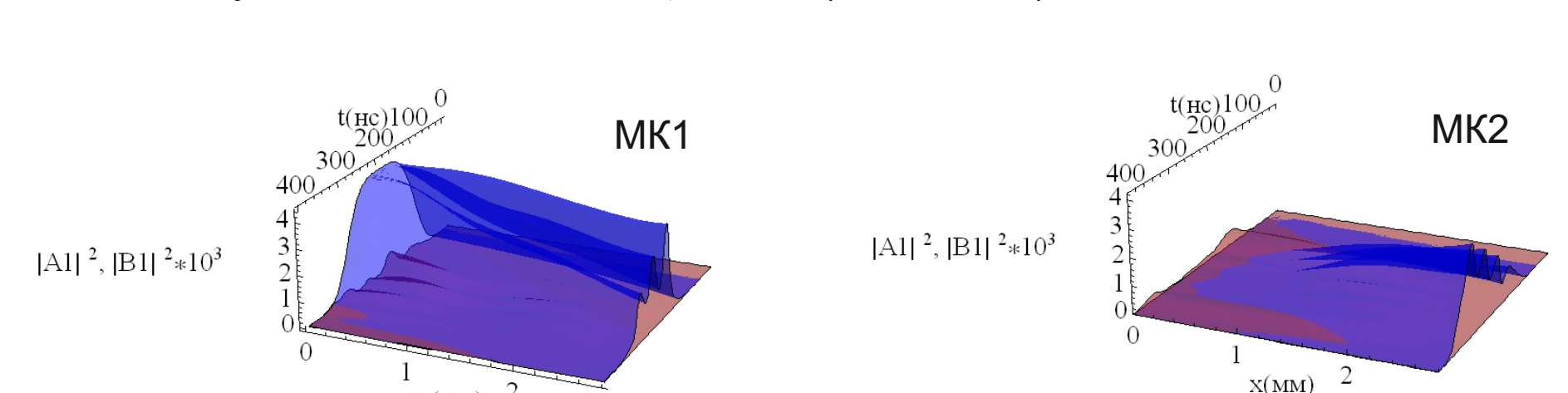
Амплитуда входного сигнала $A_{01}=0.02$ (Область 1)



Амплитуда входного сигнала $A_{01}=0.05$ (Область 2)



Амплитуда входного сигнала $A_{01}=0.065$ (Область 3)



Эффект пропускания при увеличении связи между МК

В структуре связанных МК возможно пропускание сигнала, частота которого лежит в центре запрещенной зоны одиночного МК, при увеличении связи между МК

