НОВГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ЯРОСЛАВА МУДРОГО

Управление параметрами излучения мультиферроиковой структуры электрическим полем

Аспирант кафедры ПТРА
Никитин А.О.

2020

Цель исследования

Нахождение математического решения, способного связать волновые характеристики исследуемой магнитоэлектрической антенны с величиной прикладываемого электрического поля.

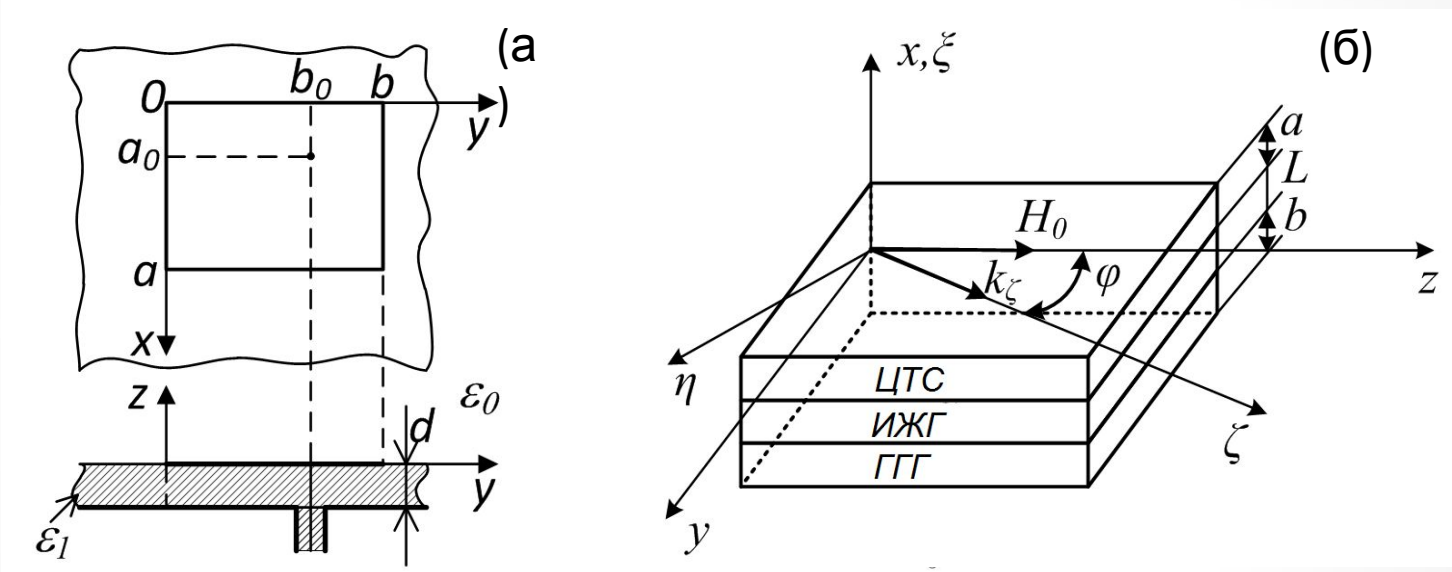
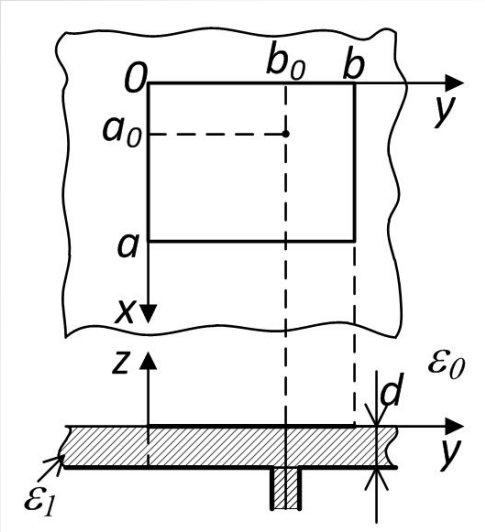


Рис.1. Структура исследуемой магнитоэлектрической антенны:
а) конструкция; б) структура подложки

Микрополосковая антенна



Модифицированный резонаторный метод [4]:

Диаграмма направленности ($kb \approx \pi$) в плоскости H ($z0x$):

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + \left(\tilde{\xi}\cot\left(\tilde{\xi}k_0 d\right)\right)^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (1)$$

в плоскости E ($z0y$):

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + \left(\tilde{\xi}\cot\left(\tilde{\xi}k_0 d\right)\right)^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (2)$$

где: $F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + \left(\tilde{\xi}\cot\left(\tilde{\xi}k_0 d\right)\right)^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right]$

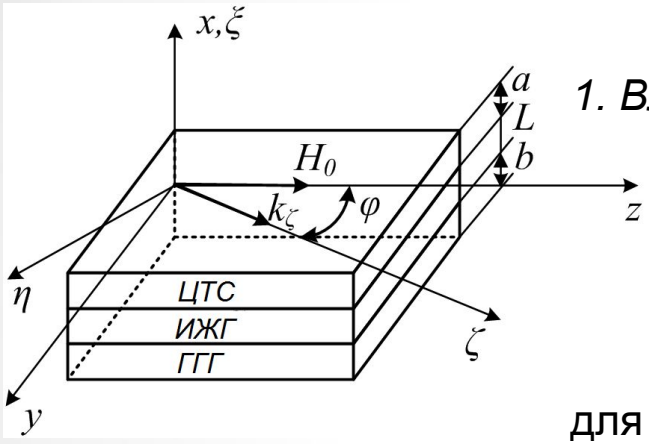
Дисперсионное уравнение ЭМВ в подложке [5]:

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + \left(\tilde{\xi}\cot\left(\tilde{\xi}k_0 d\right)\right)^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \Rightarrow F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + \left(\tilde{\xi}\cot\left(\tilde{\xi}k_0 d\right)\right)^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (3)$$

Магнитоэлектрическая подложка

Приближенное дисперсионное уравнение для гибридной электромагнитно-спиновой волны [7]:

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\xi\cot(\xi k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (4)$$



1. Влияние МЭ-эффекта на дисперсионную характеристику [8]:

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (5)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{\quad}{\quad}\left[\frac{\quad}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (6)$$

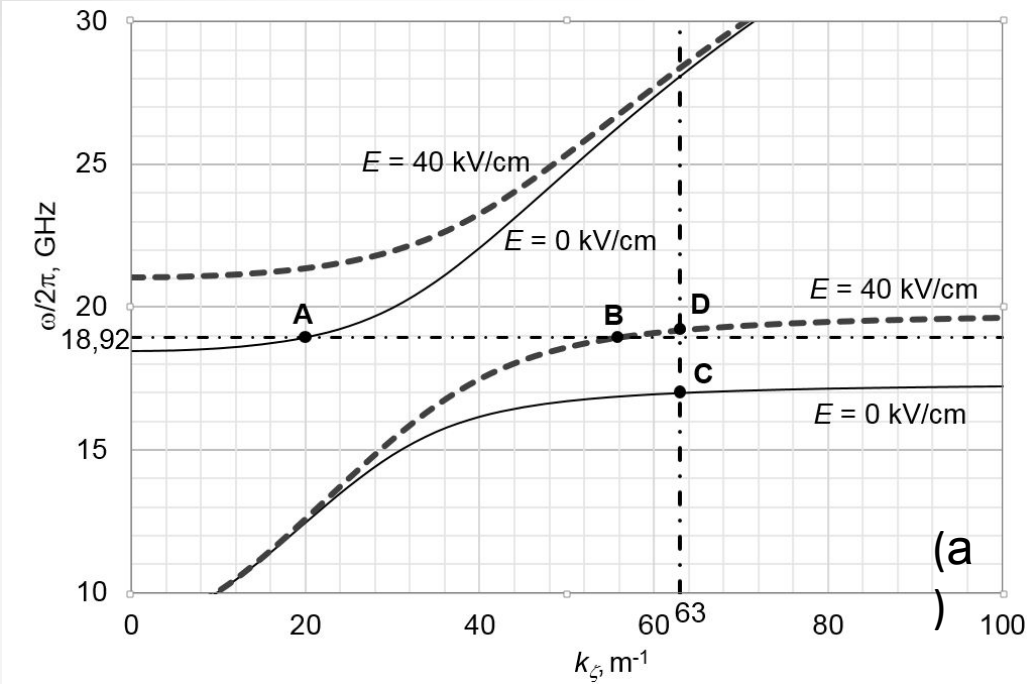
для композита ЦТС - ИЖГ: $F_\varphi(\theta) = \frac{\quad}{\quad}\left[\frac{\quad}{0.5k_0 a\sin\theta}\right]$

2. Влияние постоянного электрического поля на свойства сегнетоэлектрика (модель мультиполяризационного механизма [9]*)*

$$F_\varphi(\theta) = \frac{\quad}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\quad}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (7)$$

для слоя ЦТС: $F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right]$

Дисперсионная характеристика гибридной волны



Параметры для расчета:

слой *a* – ЦТС: *a* = 100 мкм, $\varepsilon_a(0)$ = 1870;

слой *b* – ГГГ: *b* = 500 мкм, ε_b = 11.6;

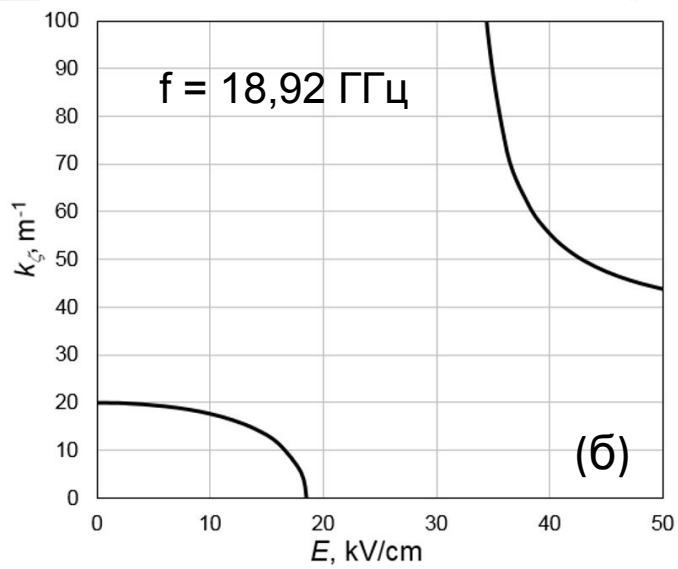
слой L – ИЖГ: *L* = 5 мкм, ε_L = 14,

M_0 = 1750 Гс; H_{e0} = 4113 Э.

Угол ϕ = 0°.

Размеры МПА: 50 × 50 (мм),

d = *a* + *L* + *b* = 605 мкм.



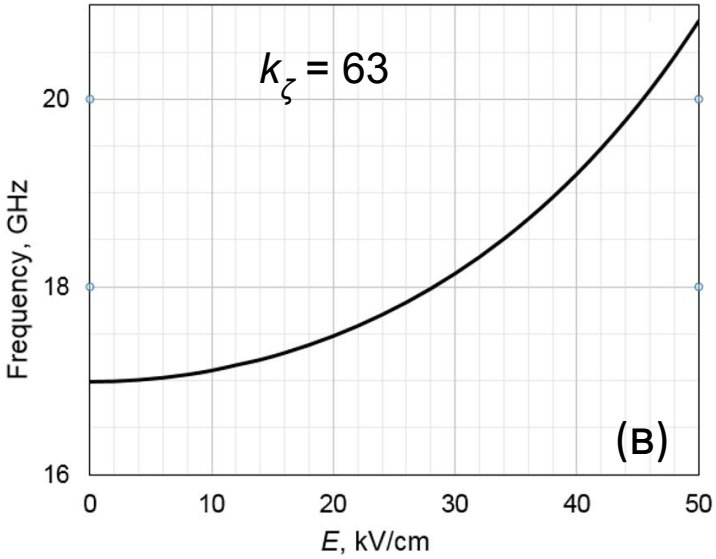
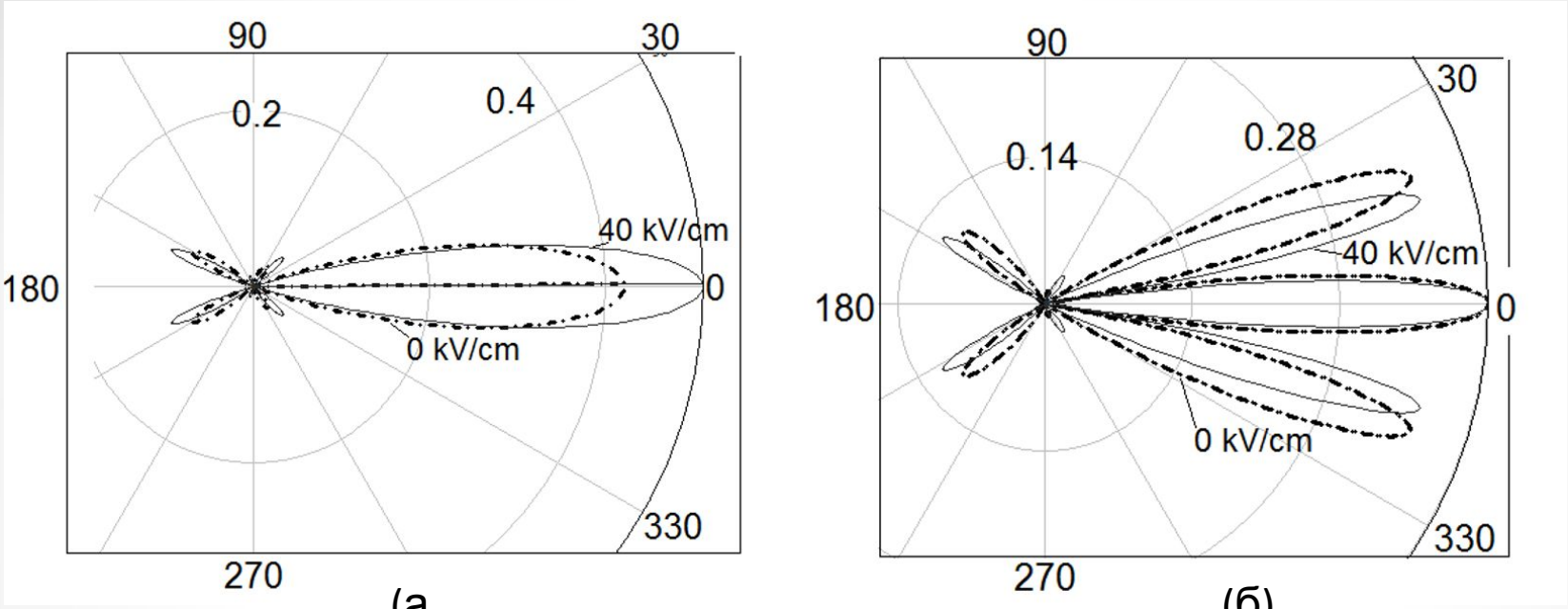


Рис.2. а) дисперсионная характеристика; зависимости от величины электрического поля (б) – постоянной распространения, (в) – резонансной частоты исследуемой антенны

Диаграммы направленности исследуемой антенны



(а) (б)

Рис.3. Расчетные диаграммы направленности, исследуемой МПА: (а) в плоскости *H* (*z*0*x*); (б) в плоскости *E* (*z*0*y*).

Увеличение прикладываемого постоянного электрического поля к сегнетоэлектрическому слою приводит к сужению диаграммы направленности в связи с уменьшением отношения резонансной длины волны к геометрическим размерам МПА.

Выводы

1. В работе получено единое волновое решение, которое в полной мере способно учесть процессы, происходящие в исследуемой магнитоэлектрической композитной структуре при приложении к сегнетоэлектрической компоненте внешнего постоянного электрического поля.

2. Увеличение постоянного электрического поля приводит почти к линейному росту резонансной частоты структуры. Это происходит за счет двух механизмов: МЭ-эффекта – через изменение эффективного магнитного поля феррита, а также за счет зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрического слоя от прикладываемого постоянного электрического поля. Суммарный эффект дает изменение резонансной частоты около 2 ГГц при изменении постоянного электрического поля на 40 кВ/см.

3. При постоянной частоте колебания изменение приложенного электрического поля может привести к образованию стоячих волн в слоистой структуре.

Литература

1. М.И. Бичурин, В.М. Петров, Д.А. Филипов, Г. Сринивасан Магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах / НовГУ им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород, 2005. - 226 с
2. Р.В. Петров, Г.Сринивасан Проектирование магнитоэлектрической фазированной антенной решётки // Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Техн. науки. 2009. № 50, - С. 61-65.
3. M.I. Bichurin, V.M. Petrov, R.V. Petrov, A.S. Tatarenko Magnetoelectric microwave devices // Ferroelectrics, 2011, 280(1):211-218 pp.
4. Б.А. Панченко, Е.И. Нефедев Микрополосковые антенны. – М.: Радио и связь, 1986. – 144 с.
5. Калиникос Б.А. Спиновый волны в ферромагнитных пленках // Соровский образовательный журнал, №5, 1996. – С. 93-100.
6. Н.Ю. Григорьева, Б.А. Калиникос Теория спиновых волн в пленочных ферромагнитных многослойных структурах : Монография. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. 176 с.
7. В.Е. Демидов, Б.А. Калиникос Особенности спектра дипольно-обменных электромагнитно-спиновых волн в несимметричных структурах металл-диэлектрик-ферромагнетик-диэлектрик-металл // ЖТФ, 2001, том71, вып.2: С. 89-93.
8. M. I. Bichurin, V. M. Petrov, and Yu. V. Kiliba Magnetic and magnetoelectric susceptibilities of a ferroelectric-ferromagnetic composite at microwave frequencies // PHYSICAL REVIEW B 66, 134404 (2002): 1-10pp.
9. Ang Ch., Yu Zh. DC electric-field dependence of the dielectric constant in polar dielectrics: Multipolarization mechanism model // Physical review B 69, 174109, 2004, 1-8 pp.

Приложение

Приближенное дисперсионное уравнение для гибридной электромагнитно-спиновой волны

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (П.1)$$

где:

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (П.2)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (П.3)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (П.4)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (П.5)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (П.6)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\tilde{\xi}\cot(\tilde{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \quad (П.7)$$

Приложение

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad (П.8)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad (П.9)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad (П.10)$$

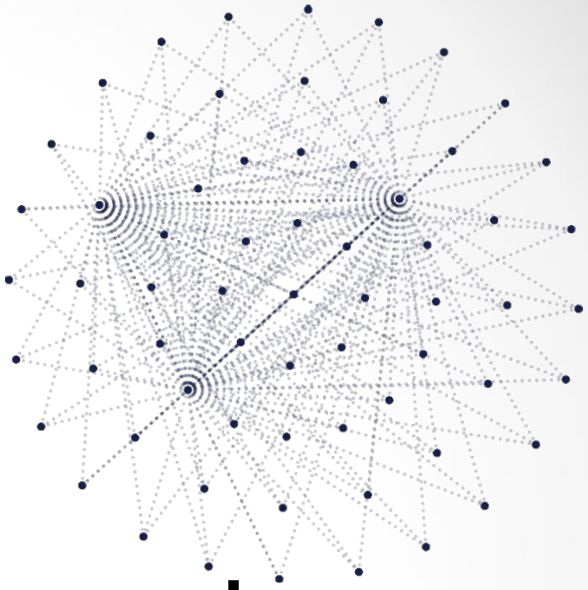
$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad (П.11)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad (П.12)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad (П.13)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad (П.14)$$

$$F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad F_\varphi(\theta) = \frac{2\cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + (\bar{\xi}\cot(\bar{\xi}k_0 d))^2}}\left[\frac{\sin(0.5k_0 a\sin\theta)}{0.5k_0 a\sin\theta}\right] \qquad (П.15)$$



Спасибо за внимание!