

DIAGRAMS OF LOOP ANTENNA ORIENTATION IN THE UNIAXIAL CRYSTAL

B. K. Kudaibergenova

Eurasian national university named after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan.

E-mail: bakit91_91@mail.ru

Key words: loop antenna, directivity pattern of the loop antenna, oneaxis crystal, electromagnetic field, anisotropic metamaterial.

Abstract. In this paper we develop loop antennas directivity pattern whose axis is perpendicular to the oneaxis of the uniaxial crystal, basing on three fundamental solution. Diagram of areas for further areas is shown.

Media with anisotropic properties are widely used in modern radio electronics, astrophysics, and in plasma physics. Anisotropic materials have found wide application in the microcircuits working on ultrahigh frequencies. Thin films from monocrystals are effectively used as waveguide's systems. At present, artificial anisotropic materials are especially actual for the design of microwave integrated circuits and optical devices. The technology advances are making the production of substrates, dielectric anisotropic films and anisotropic material filling more and more convenient. One of the main problems of creating modern radio systems for various applications and antenna technology is the development of high-performance antennas.

Moreover, influence of the medium anisotropy on the radiation antenna can be conveniently represented by its radiation pattern. In this calculation radiation pattern form loop antenna deforms depending on the distance r and remains unchanged in the far field, where the intensity is not along the axis of the antenna.

БІРӨСЬТІ КРИСТАЛЛДАҒЫ ТҰЗАҚ ТӘРІЗДІ АНТЕННАНЫҢ БАҒЫТТАЛУ ДИАГРАММАЛАРЫ

Б. Қ. Құдайбергенова

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Тірек сөздер: тұзақ тәрізді антенна, тұзақ тәрізді антеннаның бағытталу диаграммалары, бірөсьті кристалл, электромагниттік өріс, анизотропты орта.

Аннотация. Берілген жұмыста тұзақ тәрізді антенна осі бірөсьті кристалл өсіне перпендикуляр болғандағы бағытталу диаграммалары көрсетілген.

Антенна тиімділігін, сонымен қатар анизотропты метаматериалды орта құрамын анықтаудың кең таралған түріне антеннаның бағытталу диаграммасын қарастыру жатады [1].

Антеннаның бағытталу диаграммасы станция антеннасының графикалық сипаттамасын көрсетеді. Ол антеннаның кеңістікке берілген бағытқа электромагниттік немесе дыбыс толқындарын шығару және берілген бағыттағы кеңістіктен оларды қабылдау мүмкіндіктерін анықтайды. Антеннаның бағытталу диаграммасы екі жазықтықта – көлденең және тік координаталарда құрылады. Анизотропты метаматериал туралы көптеген отандас және шет елдік ғалымдар еңбегінен көруге болады [2-10]. Соңғы кездері жекелеген мамандар метаматериалдарды теориялық зерттеуден оның негізінде жасалатын АҮЖ-гі құрылғыларды жасап шығаруға көңіл бөле бастады. Ерекше сипаттамаларға ие метаматериалдар антенна габаритін кішірейтуге, күшейту коэффициентін арттыруға және жұмыс істеу жиілік жолағын кеңейтуге мүмкіншілік береді. 2001 жылы алғаш рет метаматериал ұғымын қолданысқа енгізген Техас штатындағы Остин Университетінің профессоры Роджер Вальсер болған. Бұл терминмен, қасиеттері мен сипаттамалары табиғатта бар кәдімгі материалдардың сипаттамаларынан өзгеше композитті құрылымдарды атаған. Метаматериалдарға деген ғылыми қызығушылықтың артуын, бұл саладағы ғылыми мақалалар санының экспоненциалды түрде көбеюі дәлелдейді [11-18].

Анизотропты метаматериалдағы кристалл осіне (x) перпендикуляр тұзақ тәрізді антенна үшін электр өрісінің кернеулігі:

$$\left\{ \begin{aligned} E_x &= 1/(\epsilon_0 \epsilon \omega) (k_x^2 \psi_1 + d/dx \operatorname{div} \vec{E}) \cdot \psi_1 \\ E_y &= 1/(\epsilon_0 \epsilon \omega) (k_y^2 \psi_2 + d/dy \operatorname{div} \vec{E}) \cdot \psi_2 \\ E_z &= 1/(\epsilon_0 \epsilon \omega) (k_z^2 \psi_3 + d/dz \operatorname{div} \vec{E}) \cdot \psi_3 \end{aligned} \right.$$

Электромагниттік энергия ағынының шамасы мен бағытын анықтайтын Пойнтинг векторы:

Тұзақ тәрізді антеннаның анизотропты ортадағы бағытталу диаграммасы келесі түрде есептелінеді:

$$F_1(\theta, \varphi) = \Pi(\theta, \varphi) \cdot \sin \theta \cos \varphi$$

$$F_2(\theta, \varphi) = \Pi(\theta, \varphi) \cdot \sin \theta \sin \varphi$$

$$F_3(\theta, \varphi) = \Pi(\theta, \varphi) \cdot \cos \theta$$

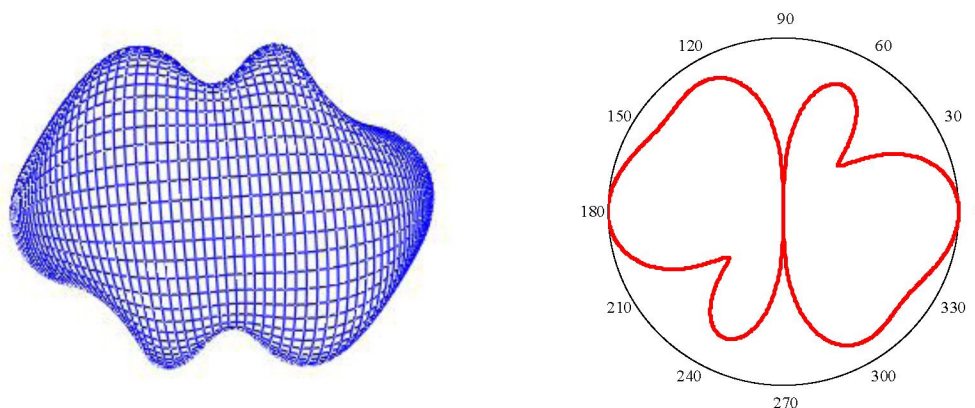
Пойнтинг векторының орташа мәнінің модулі электромагниттік толқын интенсивтілігін көрсетеді, ол келесі өрнек бойынша анықталады:

$$|\vec{\Pi}| = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{R \epsilon \Pi(\theta, \varphi)}$$

Бағытталу әсерінің көрсеткіші (БӘК) бағытталмаған антенна сәулелену қуатының бағытталған антенна сәулелелену қуатына қатынасы арқылы есептелінетіні белгілі. Бағытталмаған антенна ретінде барлық жаққа біркелкі сәуле тарататын изотропты сәуле таратушыларды [19] қарастыруға болады:

$$D = \frac{P_{\Sigma^0}}{P_{\Sigma^{\square}}} \quad (1)$$

мұндағы $P_{\Sigma^{\square}}$ - кез келген антенна үшін сәулелену қуаты, P_{Σ^0} - бағытталмаған антенна қуаты:



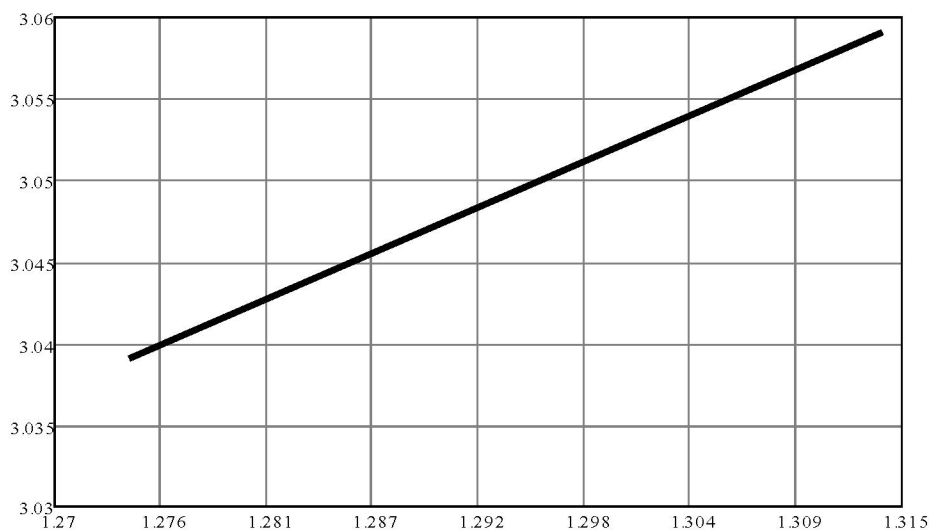
1-сурет – Тұзақ тәрізді антеннаның анизотропты ортадағы бағытталу диаграммасы ($\epsilon_1=1$, $\varphi=\pi/2$, $r=100,200$)

$$P_{\Sigma \square} = \int_S \frac{E^2}{120\pi} dS, \quad P_{\Sigma 0} = \int_S \frac{E_0^2}{120\pi} dS \quad (2)$$

Берілген формуланы түрлендіре отырып келесі қатынасты аламыз [20]:

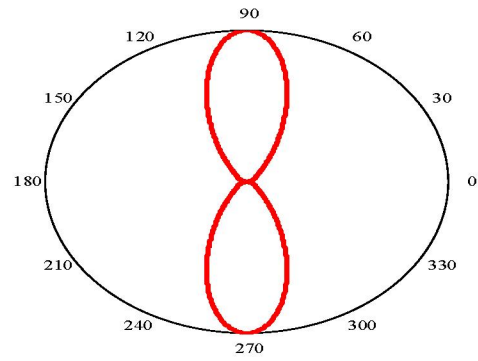
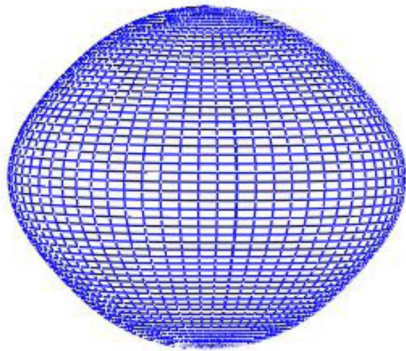
$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{|\int_S E^2 dS|^2}{\int_S |E|^2 dS} \quad (3)$$

Осы өрнек арқылы тұзақ тәрізді антенна үшін изотропты ортадағы бағытталу әсері көрсеткішінің (БӨК) жиілігіне тәуелділік сұлбасын тұрғызамыз:

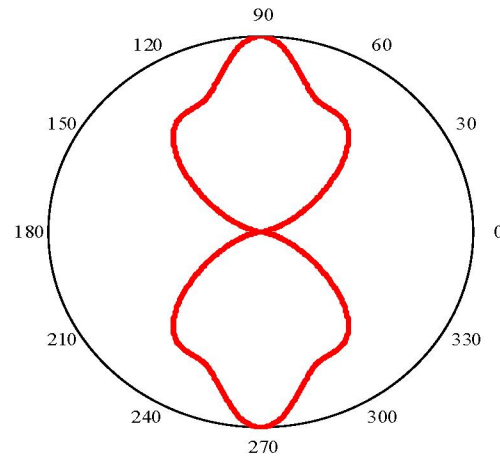
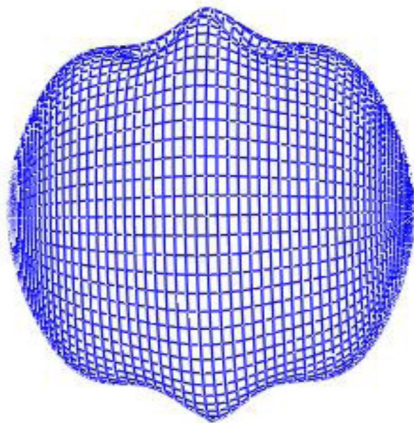


2-сурет – Тұзақ тәрізді антенна үшін анизотропты метаматериалдағы бағытталу әсері көрсеткішінің (БӨК) жиілігіне тәуелділік сұлбасы

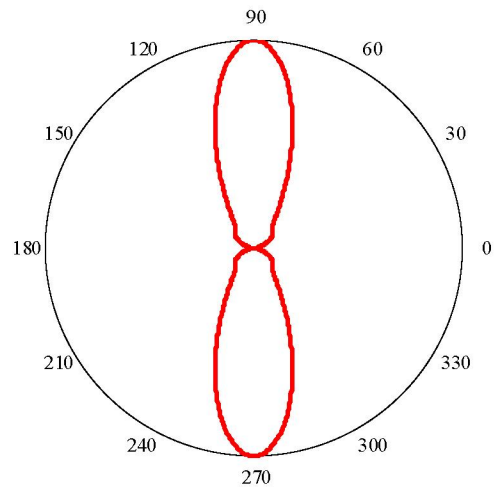
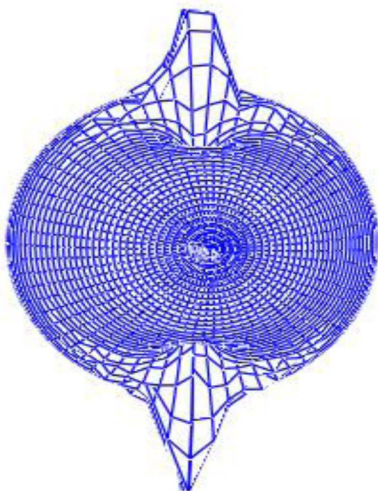
Төменде тұзақ тәрізді антенна үшін жай анизотропты метаматериалдағы және қатты анизотропты метаматериал кезіндегі бағыттау диаграммалары көрсетілген.



3-сурет – Тұзақ тәрізді антеннаның бағытталу диаграммасы ($p = p_{\square}$), $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} = 3$



4-сурет – Тұзақ тәрізді антеннаның бағытталу диаграммасы ($p = p_{\square}$), $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} = 25$



5-сурет – Тұзақ тәрізді антеннаның бағытталу диаграммасы ($p = p_{\square}$), $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} = 50$

Жоғарыда көрсетілген антеннаның бағытталу диаграммаларын салыстыра отырып мынадай қорытындыға келуге болады, анизотроптылық, яғни метаматериалдық деңгейі көп болған сайын бүйірлі жапырақшалар жоғала бастайды, анизотроптылық деңгейі үшкірлене түседі, бағытталу диаграммасы сығыла түседі.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Драбкин А.Л., Зузенко В.Л. Антенно-фидерные устройства. – 1961.
- [2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982.
- [3] Рязанов М.И. Электродинамика конденсированного вещества. – М.: Наука, 1984.
- [4] Ахиезер А.И., Ахиезер И.А. Электромагнетизм и Электромагнитные волны. – М.: Наука, 1985.
- [5] Тлеукенов С.К., Орынбасаров К.А., Оспан А.Т. О свойствах уравнений распространения электромагнитных волн в неоднородных анизотропных средах. // Труды межд. симп., посвящ. 100-летию со дня рождения К. И. Сатпаева. – Ч. 3. – Алматы, 1999.
- [6] Тлеукенов С.К., Орынбасаров К.А., Оспан А.Т. Распространение электромагнитных волн в неоднородных анизотропных диэлектриках ромбической сингонии // Поиск. – 1999. – № 6.
- [7] Clemmow P.C. (Jun. 1963a). The theory of electromagnetic waves in a simple anisotropic medium, Proc. IEE, No. 1, Jun 1963.
- [8] Слюсар В. Метаматериалы в антенной технике: история и основные принципы. – электроника: НТБ, 2011.
- [9] Veselago V.G. “Electrodynamics of substances with simultaneously negative electrical and magnetic permeabilities,” Sov. Phys. Usp. 10, 509-514 (1968).
- [10] Metamaterials: Physics and Engineering Explorations/Edited by N. Engheta and R. W. Ziolkowski. Wiley-IEEE Press, 2010.
- [11] Metamaterials Handbook: Vol. I. Phenomena and Theory of Metamaterials. 926 p. Vol. II. Applications of Metamaterials. 724 p. /Ed. by F. Capolino CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.
- [12] Pendry J. Negative Refraction Makes a Perfect Lens // Phys. Rev. Lett. 2000. – Vol. 85.
- [13] Радковская А.А., Прудников В.Н., Захаров П.Н., Бабушкин А.К. Волны в магнитных метаматериалах с сильным взаимодействием между элементами. – Москва, 2009.
- [14] Wiltshire M.C.K., Shamonina E., Young I.R., Solymar L. Dispersion characteristics of magneto-inductive waves: comparison between theory and experiment. Electron. Lett., 2003. – p. 215-217.
- [15] Negative-refraction metamaterials: Fundamental Principles and Applications / Ed. by G.V. Eleftheriades, K.G. Balmain. IEEE Press, A John Wiley & Sons, Inc., 2005. 418 p.
- [16] Миттра Р. Критический взгляд на метаматериалы. – Радиотехника и электроника, 2007. – Т. 52. – № 9. – С. 1051–1058.
- [17] Cory H., Lee Y.J., Hao Y., Parini C.G. Use of conjugate dielectric and metamaterial slabs as radomes. – IET Microwave Antennas Propagation, Vol. 1, N 1, February 2007, p. 137–143.
- [18] Агранович В.Н., Гинзбург В.Л. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. – М.: Наука. 1965.
- [19] Sautbekov S.S. Radiation of Electric and Magnetic Dipole Antennas in Magnetically Anisotropic Media
- [20] Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. – М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.

REFERENCES

- [1] Drabkin A.L., Zuzenko V.L. *Antenna-feeder devices*, 1961.
- [2] Landau L.D., Lifshitz E.M. *Electrodynamics of continuous medium*. M.: Science, 1982. (in Russ.).
- [3] Ryzanov M.I. *The electrodynamics of condensed matter*. M.: Nauka, 1984. (in Russ.).
- [4] Akhiezer A.I., Akhiezer I.A. *Electromagnetism and Electromagnetic waves*. M.: Nauka, 1985. (in Russ.).
- [5] Tleukenov S.K., Orynbasarov K.A., Ospan A.T. *The properties of the equations of propagation of electromagnetic waves in inhomogeneous anisotropic media*. // Proceedings of the Int. Symposium dedicated to the 100th anniversary of the birth of K.I. Satpayev. Part 3 Almaty, 1999. (in Russ.).
- [6] Tleukenov S.K., Orynbasarov K.A., Ospan A.T. *The propagation of electromagnetic waves in a nonuniform anisotropic dielectrics orthorhombic system*. Poisk. - 1999, №6. (in Russ.).
- [7] Clemmow P.C. (Jun. 1963a). *The theory of electromagnetic waves in a simple anisotropic medium*, Proc. IEE, No. 1, Jun 1963.
- [8] Sliusar V. *Metamaterials in antenna technology: history and basic principles*. - Electronics: NTB, 2011. (in Russ.).
- [9] Veselago V.G. *Electrodynamics of substances with simultaneously negative electrical and magnetic permeabilities*, Sov. Phys. Usp. 10, 509-514 (1968).
- [10] *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*. Edited by N. Engheta and R.W. Ziolkowski. Wiley-IEEE Press, 2010.
- [11] *Metamaterials Handbook: Vol. I. Phenomena and Theory of Metamaterials*. 926 p. Vol. II. Applications of Metamaterials. 724 p. /Ed. by F. Capolino CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.
- [12] Pendry J. *Negative Refraction Makes a Perfect Lens*. Phys. Rev. Lett.- 2000.- Vol. 85.
- [13] Radkovskaya A.A., Prudnikov V.N., Zakharov P.N., Babushkin A.K. *The waves in magnetic metamaterials with strong interactions between the elements*. Moscow, 2009. (in Russ.).

[14] Wiltshire M.C.K., Shamonina E., Young I.R., Solymar L. *Dispersion characteristics of magneto-inductive waves: comparison between theory and experiment*. Electron. Lett., 2003, p. 215-217.

[15] *Negative-refraction metamaterials: Fundamental Principles and Applications*. Ed. by G.V. Eleftheriades, K.G. Balmain. IEEE Press, A John Wiley & Sons, Inc., 2005. 418 p.

[16] Mittra R. *Critical view on metamaterials*. - Technology and Electronics, 2007, Volume 52, № 9. (in Russ.).

[17] Cory H., Lee Y.J., Hao Y., Parini C.G. Use of conjugate dielectric and metamaterial slabs as radomes. – IET Microwave Antennas Propagation, Vol. 1, N 1, February 2007, p. 137–143.

[18] Agranovich V.N., Ginzburg V.L. *Crystal Optics with Spatial Dispersion and Excitons*. М.: Nauka. 1965. (in Russ.).

[19] Sautbekov S.S. *Radiation of Electric and Magnetic Dipole Antennas in Magnetically Anisotropic Media*.

[20] Weinstein L. *Electromagnetic waves*. - М.: Radio and Communications, 1988. - 440 p. (in Russ.).

ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ПЕТЛЕВОЙ АНТЕННЫ В ОДНООСНОМ КРИСТАЛЛЕ

Б. К. Кудайбергенова

ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Ключевые слова: петлевая антенна, диаграммы направленности петлевой антенны, одноосный кристалл, электромагнитное поле, анизотропная среда.

Аннотация. В данной работе построены диаграммы направленности петлевой антенны, ось которой перпендикулярна к оси одноосного кристалла.

Поступила 22.05.2015 г.