

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ВИСОКОІМПЕДАНСНИХ КРИСТАЛОПОДІБНИХ  
НЕОДНОРІДНОСТЕЙ<sup>1</sup>**

*Адаменко Ю. Ф., к. т. н., доцент  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE HIGHIMPEDANCE  
CRYSTALLIKE INHOMOGENITIES EFFECTIVENESS**

*Adamenko Yu. F., PhD, Associate Professor  
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

**Вступ**

Значний інтерес до властивостей штучних періодичних структур, подібним природним кристалам, зумовлює інтенсивні дослідження у цьому напрямі у великій кількості університетів і лабораторій США, Іспанії, Франції, Німеччині, Росії, Кореї, Китаї тощо. В кристалоподібних структурах в результаті інтерференції відбитих хвиль формуються частотні смуги, в межах яких хвилі повністю або проходять, або не проходять (відповідно дозволені і заборонені зони). Така частотна фільтрація дозволяє керувати проходженням хвиль в максимальному діапазоні їх рівня, що забезпечує значні можливості в обробці сигналів.

Кристалоподібні структури радіодіапазону, утворені хвильовими неоднорідностями, що періодично розміщені вздовж напрямку поширення електро-магнітних хвиль, отримали назву електромагнітних кристалів (ЕК) [1]. Значного розвитку набули мікросмужкові ЕК на основі неоднорідностей, створених в мікросмужковій лінії (МСЛ).

В [2] для оцінки ефективності ЕК-неоднорідності запропоновано використовувати її еквівалентний хвильовий імпеданс. Еквівалентний хвильовий імпеданс характеризує реакцію неоднорідності на хвильове збурювання. Ефективність неоднорідності визначає співвідношення  $\rho = Z/Z_0$ , де  $Z$  — еквівалентний хвильовий імпеданс неоднорідності;  $Z_0$  — хвильовий імпеданс однорідної області (зазвичай 50 Ом). При збільшенні або зменшенні  $\rho$  підвищується вибірність структур.

В [3–6] запропоновано ряд конструктивних рішень високоімпедансних тривимірних ЕК-неоднорідностей, що забезпечують значне збільшення верхньої межі діапазону хвильових імпедансів МСЛ.

Мета статті полягає у порівняльному аналізі ефективності високоімпедансних

---

<sup>1</sup> <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1167>

дансних три- та двовимірних ЕК-неоднорідностей та традиційних МСЛ-неодно-рідностей, а також у взаємному порівняльному аналізі ефективності тривимірних високоімпедансних ЕК-неоднорідностей різних конструктивних рішень.

### Традиційні мікросмужкові та електромагнітнокристалічні неоднорідності

Рис. 1 ілюструє конструкції традиційних МСЛ- та ЕК-неоднорідностей. Традиційні МСЛ-неоднорідності у вигляді широких або вузьких відрізків смужкового провідника (рис.1, а) вважають найпростішим аналогом ЕК-неоднорідностей [7]. Внаслідок обмеження допустимою шириною смужкового провідника діапазон значень  $Z$  для традиційних МСЛ-неоднорідностей становить приблизно 20...120 Ом, що відповідає  $\rho \approx 0,4 \dots 2,4$ .

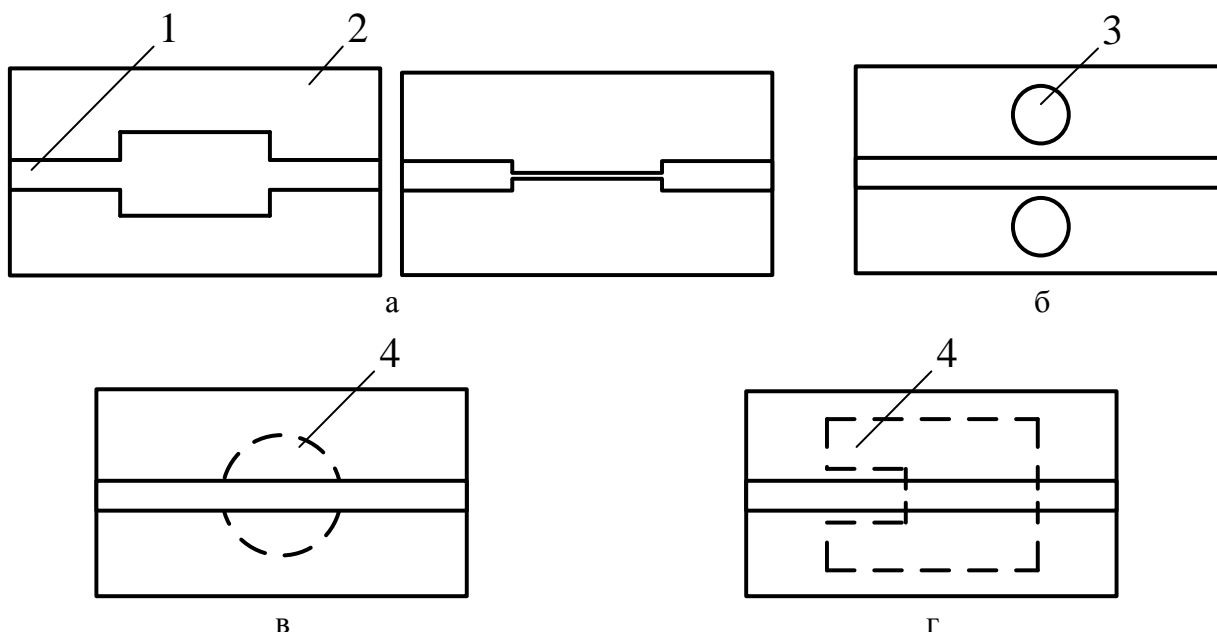


Рис. 1. Традиційні МСЛ- (а) та ЕК-неоднорідності (б-г): широкі або вузькі відрізки смужкового провідника (а), наскрізні отвори (б), отвори різної форми в металізованій поверхні (в, г); 1 — смужковий провідник; 2 — діелектрична основа, 3 — наскрізний отвір, 4 — отвір в металізованій поверхні.

Неоднорідності у вигляді наскрізних отворів поряд зі смужковим провідником (рис. 1, б) [8] мають невисокий вплив, оскільки поле сконцентроване під смужковим провідником. Ефективність таких ЕК-неоднорідностей визначається значеннями  $\rho \approx 1,1 \dots 1,4$  в залежності від віддаленості отворів від смужкового провідника.

Більш ефективні двовимірні ЕК-неоднорідності у формі розміщених під смужковим провідником отворів різної форми в металізованій поверхні (рис. 1, в, г) [9, 10]. Контури струму на межах отвору підвищують індуктивність, що в свою чергу підвищує хвильовий імпеданс, який для лінії з розподіленими параметрами визначається формулою  $Z = \sqrt{L/C}$ , де  $L$  і  $C$  —

погонні індуктивність та ємність. Неоднорідність на рис. 1, г складається з двох прямокутних секцій, з'єднаних між собою. Таким чином сформовано квазісосереджену ємність, що приводить до утворення паралельного коливального контуру. Характеристика проходження ЕК-неоднорідності має смугу подавлення — широку і вузьку режекторного типу відповідно для неоднорідності на рис. 1, в і 1, г. Значення  $Z$  досягає приблизно 210 Ом [10], що відповідає  $\rho \approx 4$ .

Суттєве підвищення значення  $\rho$  забезпечують тривимірні високоімпедансні ЕК-неоднорідності.

### Порівняльний аналіз ефективності традиційних та тривимірної ЕК-неоднорідностей

На рис. 2, а показано конструкцію високоімпедансної тривимірної ЕК-неоднорідності. Неоднорідність є комбінованою, утвореною трьома неоднорідностями: в металізованій поверхні (1), в діелектричній основі (2) та на сигнальній поверхні (3). Сигнальний провідник (4) утворено гальванічно з'єднаними смужковим (5) та дрововим провідниками (6).

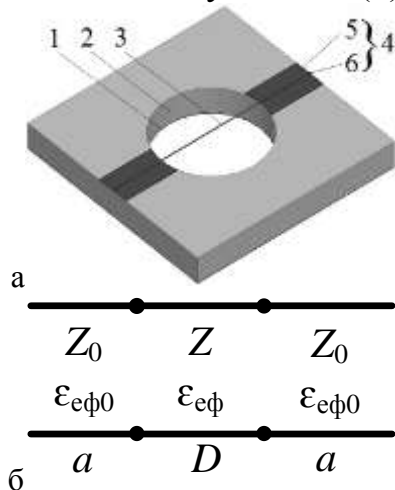


Рис. 2 Тривимірна високоімпедансна ЕК-неоднорідність (а) та її

Для аналізу ефективності неоднорідності скористаємося її представленням еквівалентним відрізком лінії передачі (рис. 2, б). Хвильовий імпеданс та відносна діелектрична проникність відрізка дорівнюють відповідно еквівалентному хвильового імпедансу  $Z$  та еквівалентній ефективній діелектричній проникності  $\epsilon_{\text{еф}}$  неоднорідності. Довжини відрізків лінії передачі дорівнюють характерному розміру неоднорідності  $D$  (діаметр, довжина) та довжинам відрізків  $a$  однорідної 50-омної МСЛ. Значення  $\epsilon_{\text{еф}0}$  відповідає МСЛ з

хвильовим імпедансом  $Z_0$ .

Значення  $Z$  та  $\epsilon_{\text{еф}}$  визначаються відповідно мінімумом коефіцієнта проходження  $T_{\text{мін}}$  та частотою цього мінімуму  $f_{\text{мін}}$ , отриманими тривимірним електромагнітним моделюванням (нами використовується програмний пакет *CST Microwave Studio*).

Зв'язок між зазначеними параметрами визначають формули [11]

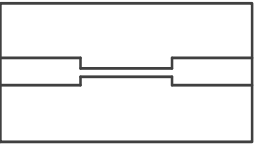
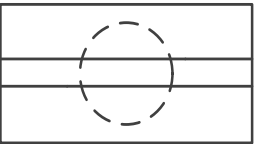
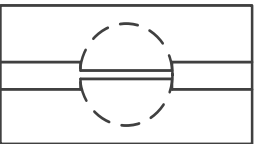
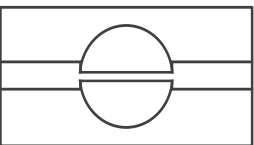
$$Z = \frac{Z_0 \left( 1 \mp \sqrt{1 - T_{\text{мін}}^2} \right)}{T_{\text{мін}}}, \quad \epsilon_{\text{еф}} = \left( \frac{c}{4 f_{\text{мін}} D} \right)^2,$$

де  $c$  — швидкість світла у вакуумі, знаки « $\mp$ » і « $\pm$ » з « $\mp$ » відповідають

низько- та високоімпедансним неоднорідностям (відповідно  $Z < 50$  Ом та  $Z > 50$  Ом).

У табл. 1 для наведено параметри МСЛ-неоднорідності (Н1), двовимірних ЕК-неоднорідностей (Н2 і Н3) та тривимірної ЕК-неоднорідності (Н4). Значення  $Z$  та  $\epsilon_{\text{еф}}$  неоднорідності Н1 розраховано згідно [12], формули (4.2) і (4.3). Параметри неоднорідностей:  $D = 8$  мм, Н1 і Н3 — смужковий провідник завширшки 0,1 мм, Н4 — дотовий провідник діаметром 0,1 мм, ширина смужкового провідника з номінальним імпедансом  $Z_0 = 50$  Ом — 2,66 мм,  $a = 5$  мм, матеріал основи — ФЛАН-7,2 (товщина діелектрика 2,1 мм, відносна діелектрична проникність діелектрика 7, тангенс кута діелектричних втрат 0,0025 на частоті 10 ГГц, товщина металізації 50 мкм);  $w$  — ширина смужкового провідника МСЛ, що відповідає значенню  $Z$ .

Таблиця 1 Параметри ЕК-неоднорідностей

Вид неоднорідності	$f_{\text{мін}}$ , ГГц	$T_{\text{мін}}$ , дБ	$Z$ , Ом	$\rho$	$\epsilon_{\text{еф}}$	$w$ , мм
Н1 	4,51	-3,61	132,7	2,65	4,32	0,1
Н2 	5,49	-1,24	86,5	1,73	2,91	0,78
Н3 	6,30	-7,42	224	4,47	2,21	$8 \cdot 10^{-3}$
Н4 	7,89	-10,31	320	6,40	1,41	$0,3 \cdot 10^{-3}$

Значення  $w$  для неоднорідностей Н3 і Н4 ілюструють неможливість реалізації МСЛ-неоднорідністю відповідних значень  $Z$ .

Ефективність тривимірної ЕК-неоднорідності Н4 більша в 2,4 і 1,4 рази у порівнянні з МСЛ-неоднорідністю Н1 і з двовимірною ЕК-неоднорідністю Н3 відповідно. У складі ЕК ефективність неоднорідності збільшується внаслідок бреггівського відбиття хвиль. Так, виходячи з експериментального значення  $T_{\text{мін}}$  ЕК на основі п'яти неоднорідностей Н4, значення  $\rho = 10,9$  [3].

Підвищення значення  $f_{\text{мін}}$  у неоднорідності Н4 має і позитивний, і негативний наслідки. З підвищенням  $f_{\text{мін}}$  підвищується гранична частота реалізації неоднорідністю квазізосередженої індуктивності [11]. З іншого бо-

ку, внаслідок підвищення  $f_{\text{мін}}$  зменшується значення  $\epsilon_{\text{еф}}$ , що призводить до збільшення розмірів ЕК, розрахованого на задану частоту.

### **Тривимірні ЕК-неоднорідності з непрямолінійним сигнальним провідником**

Розглянемо конструктивні рішення високоімпедансних тривимірних ЕК-неоднорідностей з підвищеним значенням  $\epsilon_{\text{еф}}$ . Значенню  $f_{\text{мін}}$  відповідає співвідношення  $D = \lambda_{\text{мін}}/4$ , де  $\lambda$  — довжина хвилі, індекс «мін» відповідає частоті  $f_{\text{мін}}$ . На частоті  $f_{\text{мін}}$  фазова довжина неоднорідності  $l_{\phi} = k_{\text{мін}}D = \pi/2$  радіан, де  $ks$  — хвильове число. Для зменшення значення  $f_{\text{мін}}$  необхідно збільшити  $l_{\phi}$  при заданому  $D$ . З цією метою напрямки поширення хвилі і, відповідно, сигнальний провідник мають бути непрямолінійними.

На рис. 3 представлено конструктивні рішення тривимірних ЕК-неоднорідностей з непрямолінійним сигнальним провідником. Хвилеподібний сигнальний провідник (рис.3, а) утворено суміщенням двох напівкіл радіусом  $D/4$ . П-подібний (рис.3, б) та зигзагоподібні (рис.3, в, г) провідники виконано у вигляді ламаної, утвореної послідовним з'єднанням відрізків прямолінійного провідника з суміщенням кутів з межами отвору [5]. Парні за номерами відрізки зигзагоподібних провідників перпендикулярні прямолінійному напрямку поширення хвилі і ділять коло у відношеннях 1:1 та 1:3. Об'ємний провідник на рис. 3, д має форму напівкола і розміщений в площині, перпендикулярній діелектричній основі [6].

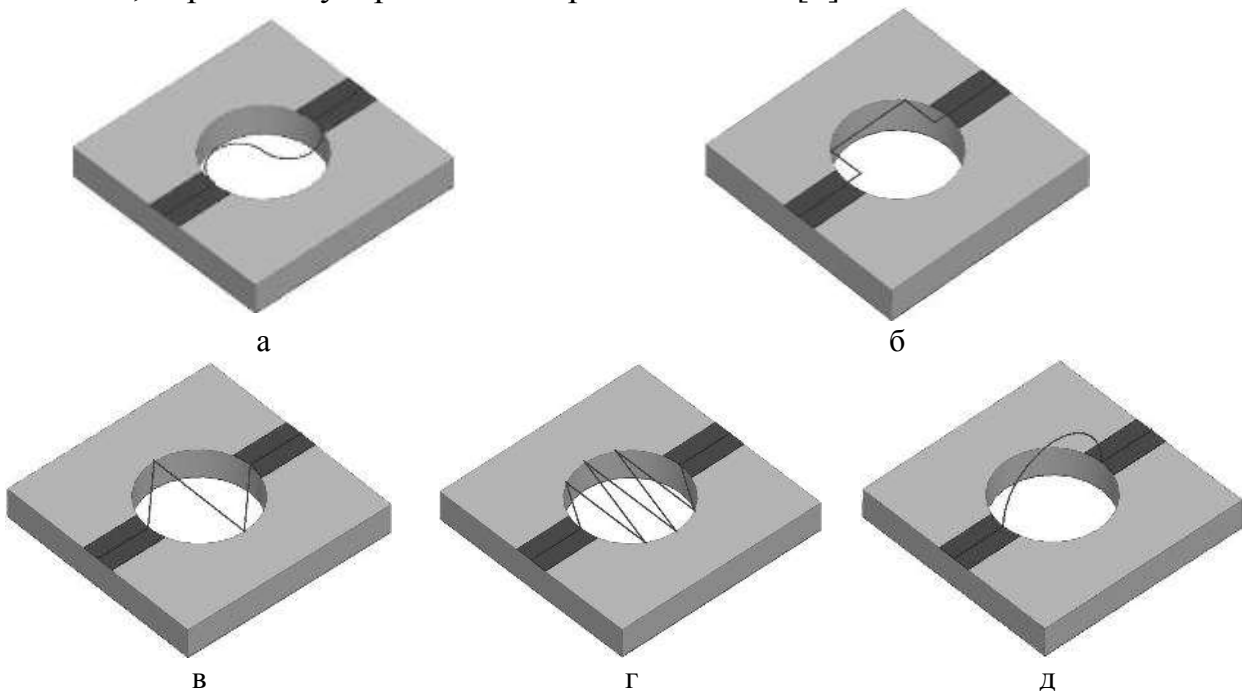


Рис. 3. Тривимірні ЕК-неоднорідності з непрямолінійним сигнальним провідником: а — хвилеподібним; б — п-подібним; в, г — зигзагоподібним; д — об'ємним.

У табл. 2 приведено параметри ЕК-неоднорідностей з непрямолінійним сигнальним провідником і для порівняння параметри неоднорідності Н4 (деякі відмінності від [5] і [6] обумовлені уточненням моделювання). Буквенні позначення неоднорідностей відповідають рис. 3. Параметр  $s = c/v = \sqrt{\epsilon_{\text{еф}}}$ , де  $v$  — еквівалентна фазова швидкість хвилі в прямолінійному напрямку її поширення, характеризує уповільнення хвилі, а параметри  $\hat{\rho} = \rho/\rho_{\text{Н2}}$  і  $\hat{l}$  характеризують тривимірну ЕК-неоднорідність по відношенню до типової двовимірної Н2.

Таблиця 2 Параметри ЕК-неоднорідностей

Неоднорідність	$f_{\text{мін}}, \text{ГГц}$	$T_{\text{мін}}, \text{дБ}$	$\rho$	$\hat{\rho}$	$\epsilon_{\text{еф}}$	$s$	$\hat{s}$
Н4	7,89	-10,31	6,40	3,70	1,41	1,19	0,70
а	6,54	-10,95	6,91	4,00	2,05	1,43	0,84
в	4,32	-9,52	5,81	3,36	4,70	2,17	1,27
г	3,07	-9,47	5,11	2,95	9,31	3,05	1,79
д	6,15	-12,31	8,13	4,70	2,32	1,52	0,89

Як бачимо, у порівнянні з неоднорідностями Н4 і Н2 тривимірні ЕК-неоднорідності з непрямолінійним провідником дозволяють суттєво зменшити значення  $f_{\text{мін}}$ , що відповідає збільшенню  $\epsilon_{\text{еф}}$ . Значення  $f_{\text{мін}}$  для неоднорідностей а, в і г у порівнянні з неоднорідністю Н4 менше на 17%, 45% і 61% відповідно. На стільки-ж зменшаться і розміри ЕК, розрахованого на задану частоту.

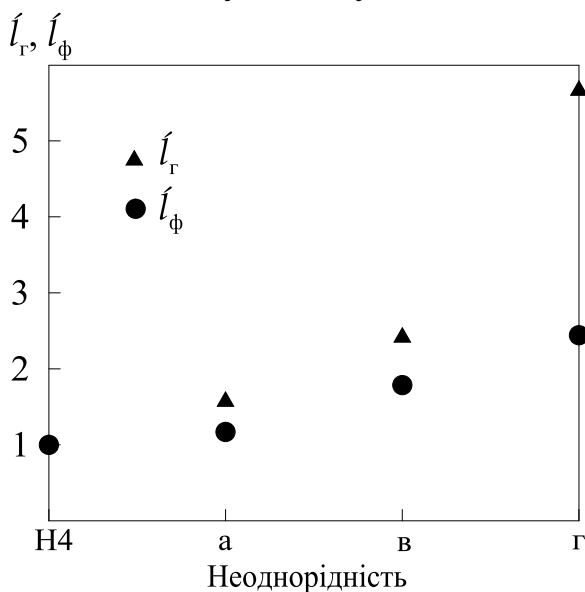


Рис. 4. Відносне збільшення геометричної і фазової довжин неоднорідностей.  $\hat{l}_\gamma = l_\gamma / l_{\text{Н4}}$ ,  $\hat{l}_\phi = l_\phi / l_{\text{Н4}}$

Уповільнення хвилі неоднорідністю г більше в 1,5, 2,1 і 2,6 рази у порівнянні з МСЛ-неоднорідністю Н1, типовою двовимірною ЕК-неоднорідністю Н3 і тривимірною ЕК-неоднорідністю з прямолінійним провідником Н4 відповідно.

Зменшення ефективності неоднорідностей в і г пояснюється зростанням погонної ємності, оскільки силові лінії електричного поля в більшій мірі проходять крізь матеріал основи.

Для збільшення ефективності необхідно збільшити відстань між провідником і металізованою поверхнею, оскільки при цьому збільшиться значення  $L$  і зменшиться значення  $C$ . Таке рішення досягається в неоднорідності на рис. 3, д, яка має максимальне значення  $Z \approx 400 \text{ Ом}$ .

Ефективність цієї неоднорідності більша в 3,1, 1,8 і 1,3 рази у порівнянні з неоднорідностями Н1, Н3 і Н4 відповідно.

Рис. 4 ілюструє відносне збільшення геометричної  $l_r$  і фазової довжин неоднорідностей. Як бачимо, фазова довжина зростає повільніше, ніж геометрична, що обумовлено взаємодією ділянок непрямої лінійного провідника.

### **Висновки**

Ефективність високоімпедансних тривимірних ЕК-неоднорідностей більша приблизно в 2,4...3,1 і в 1,4...1,8 рази у порівнянні з МСЛ-неоднорідністю і типовою двовимірною ЕК-неоднорідністю відповідно.

Уповільнення хвилі високоімпедансною тривимірною ЕК-неоднорідністю з зигзагоподібним сигнальним провідником більше в 1,5, 2,1 і 2,6 рази у порівнянні з МСЛ-неоднорідністю, типовою двовимірною ЕК-неоднорідністю і тривимірною ЕК-неоднорідністю з прямолінійним провідником відповідно.

Розглянуті варіанти високоімпедансних тривимірних ЕК-неоднорідностей, що різняться конструктивними і електричними параметрами, дозволяють реалізувати високоефективні ЕК в різних конструктивних рішеннях мікросмушкових пристроїв.

### **Перелік посилань**

1. Maagt P. Review of electromagnetic bandgap technology and applications [Електронний ресурс] / P. de Maagt, R. Gonzalo, J. Vardaxoglou // Radio Science Bulletin, 309, pp. 11-24. – Режим доступу: <http://antenas.unavarr.es/Publicaciones/Imagenes/Pub79.pdf>
2. Адаменко Ю. Ф. Пристрої фільтрації на основі аподизованих електромагнітних кристалів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.02.13 / Нац. техн. ун-т. України "Київ. політехн. ін-т." – Київ, 2014. – 24с.
3. Назарько А. И. Повышение зонной избирательности микрополосковых аналогов фотонных кристаллов / А. И. Назарько, Ю. Ф. Тимофеева, Е. А. Нелин, В. И. Попсуй // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – № 6. – С. 38–41.
4. Патент України на корисну модель UA53885U, МПК H01P3/08 Фотоннокристалічний пристрій / Ю. Ф. Тимофеева, А. І. Назарько, Є. А. Нелін, В. І. Попсуй. – U201003531; заявл. 26.03.2010; опубл. 25.10.2010; Бюл. №20.
5. Патент України на корисну модель UA64315U, МПК H01P3/00 Електромагнітно-кристалічний відбивач / А. І. Назарько, Є. А. Нелін, Ю. Ф. Тимофеева. – U201102535; заявл. 03.03.2011; опубл. 10.11.2011; Бюл. №21.
6. Патент України на корисну модель UA78246U, МПК H01P3/00 Електромагнітно-кристалічний відбивач / А. І. Назарько, Є. А. Нелін, В. І. Попсуй, Ю. Ф. Тимофеева. – U201211068; заявл. 24.09.2012; опубл. 11.03.2013; Бюл. №5.
7. Беляев Б. А. Исследование микрополосковых аналогов полосно-пропускающих фильтров на одномерных фотонных кристаллах / Б. А. Беляев, А. С. Волошин, В. Ф. Шабанов // Радиотехника и электроника. – 2006. – Т. 51, №6. – С. 694-701.
8. Rumsey I. Photonic bandgap structures used as filters in microstrip circuits / I. Rumsey, M. Piket-May, P. K. Kelly // IEEE MWCL. – 1998. – Vol. 8, No 10. – pp. 336-338.
9. Erro M. J. Phase-reconstruction in photonic crystals from S-parameter magnitude in

microstrip technology / M. J. Erro, I. Arnedo, M. A. G. Laso, T. Lopetegi, M. A. Muriel // *Opt Quant Electron.* – 2007. – No 39. – pp. 321-331. DOI 10.1007/s11082-007-9079-3.

10. Weng L. H. An overview on defected ground structure / L. H. Weng, Y. C. Guo, X. W. Shi, X. Q. Chen // *PIER B.* – 2008. – Vol. 7. – P. 173-189. DOI:10.2528/PIERB08031401.

11. Биденко П. С. Квазисосредоточенные реактивные элементы на основе кристаллоподобных неоднородностей / П. С. Биденко, Е. А. Нелин, А. И. Назарько, Ю. Ф. Адаменко // *Известия вузов. Радиоэлектроника.* – 2015. – Т. 58, № 11. – С. 49–56.

12. Hong J.-S. *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications* / J.-S. Hong, M. J. Lancaster. – John Wiley & Sons Inc., 2001. – 457 с.

13. Park J. Design of a novel harmonic-suppressed microstrip low-pass filter / J. Park, J.-P. Kim, S. Nam // *IEEE MWCL.* – 2007. – Vol.17, No 6. – pp. 424426.

### References

1. Maagt P. de, Gonzalo R. and Vardaxoglou J. (2004) Review of Electromagnetic Bandgap Technology and Applications. *Radio Science Bulletin*, 309, pp. 11-24.

2. Adamenko Yu. F. (2014) *Prystroji filtratsii na osnovi apodyzovanykh elektromahnitnykh krystaliv* [Filtration devices based on electromagnetic apodized crystal]. Kyiv, NTUU "KPI", 24 p.

3. Nazarko A. I., Timofeeva J. F., Nelin E. A. and Popsuj V. I. (2009) Improvement of band selectivity of electromagnetic crystals. *Tekhnologiya i Konstruirovannye v Elektronnoi Apparature*, No 6, pp. 38-41.

4. Tymofieieva Yu. F., Nazarko A. I., Nelin Ye. A. and Popsui V. I. (2010) *Fotonokrystalichnyi prystrii* [Photonic crystal device]. Patent UA 53885 U.

5. Nazarko A. I., Nelin Ye. A. and Tymofieieva Yu. F. (2011) *Elektromahnitnokrystalichnyi vidbyvach* [Electromagnetic crystal reflector]. Patent UA 64315U.

6. Nazarko A. I., Nelin Ye. A., Popsui V. I. and Tymofieieva Yu. F. (2011) *Elektromahnitnokrystalichnyi vidbyvach* [Electromagnetic crystal reflector]. Patent UA 78246U.

7. Belyaev B. A., Voloshin A. S. and Shabanov V. F. (2006) Analysis of Microstrip Analogues of Bandpass Filters on One-Dimensional Photonic Crystals. *Journal of Communications Technology and Electronics*, vol. 51, no. 6, pp. 653-659. DOI 10.1134/s1064226906060052.

8. Rumsey I., Picket-May M. and Kelly P. K. (1998) Photonic bandgap structures used as filters in microstrip circuits. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol.8, No 10, pp. 336-338. DOI 10.1109/75.735413.

9. Erro M. J., Arnedo I., Laso M. A. G., Lopetegi T. and Muriel M. A. (2007) Phase-reconstruction in photonic crystals from S-parameter magnitude in microstrip technology. *Opt Quant Electron*, Vol 39, Iss. 4, pp. 321-331. DOI 10.1007/s11082-007-9079-3

10. Weng L. H., Guo Y. C., Shi X. W. and Chen X. Q. (2008) An overview on defected ground structure. *PIER B*, Vol. 7, pp. 173-189. DOI:10.2528/PIERB08031401.

11. Bidenko P. S., Nelin E. A., Nazarko A. I. and Adamenko Y. F. (2015) Quasi-lumped reactive elements based on crystal-like discontinuities. *Radioelectronics and Communications System*, Vol. 58, No 11, pp. 515-521. DOI: 10.3103/S0735272715110059

12. Hong J.-S. and Lancaster M. J. (2001) *Microstrip filters for RF/microwave applications*, John Wiley & Sons, 457 p.

13. Park J., Kim J.-P. and Nam S. (2007) Design of a novel harmonic-suppressed microstrip low-pass filter. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol.17, Iss. 6, pp. 424-426. DOI: 10.1109/LMWC.2007.897789



Адаменко Ю. Ф. **Порівняльний аналіз ефективності високоімпедансних кристалоподібних неоднорідностей.** Виконано порівняльний аналіз ефективності високоімпедансних три- та двовимірних електромагнітнокристалічних (ЕК)-неоднорідностей та традиційних неоднорідностей мікросмушкових ліній (МСЛ), а також взаємний порівняльний аналіз ефективності тривимірних високоімпедансних ЕК-неоднорідностей різних конструктивних рішень. Показано, що ефективність високоімпедансних тривимірних ЕК-неоднорідностей більша приблизно в 2,4...3,1 і в 1,4...1,8 рази у порівнянні з МСЛ-неоднорідністю і типовою двовимірною ЕК-неоднорідністю відповідно. Уповільнення хвилі високоімпедансною тривимірною ЕК-неоднорідністю з зигзагоподібним сигнальним провідником більше в 1,5, 2,1 і 2,6 рази у порівнянні з МСЛ-неоднорідністю, типовою двовимірною ЕК-неоднорідністю і тривимірною ЕК-неоднорідністю з прямолінійним провідником відповідно.

**Ключові слова:** електромагнітний кристал, ЕК, частотно-вибірні пристрої, хвильовий імпеданс, високоімпедансна ЕК-неоднорідність, мінімум коефіцієнта проходження.

Адаменко Ю. Ф. **Сравнительный анализ эффективности высокоимпедансных кристаллоподобных неоднородностей.** Выполнен сравнительный анализ эффективности высокоимпедансных трех- и двумерных электромагнитнокристаллических (ЭК)-неоднородностей и традиционных неоднородностей микрополосковых линий (МПЛ), а также взаимный сравнительный анализ эффективности трехмерных высокоимпедансных ЭК-неоднородностей различных конструктивных решений. Показано, что эффективность высокоимпедансных трехмерных ЭК-неоднородностей больше примерно в 2,4...3,1 и в 1,4...1,8 раза по сравнению с МПЛ-неоднородностью и типичной двумерной ЭК-неоднородностью соответственно. Замедление волны высокоимпедансной трехмерной ЭК-неоднородностью с зигзагообразным сигнальным проводником больше в 1,5, 2,1 и 2,6 раза по сравнению с МПЛ-неоднородностью, типичной двумерной ЭК-неоднородностью и трехмерной ЭК-неоднородностью с прямолинейным проводником соответственно.

**Ключевые слова:** электромагнитный кристалл, ЭК, частотно-избирательные устройства, волновой импеданс, высокоимпедансная ЕК-неоднородность, минимум коэффициента прохождения.

Adamenko Yu. **Comparative Analysis of the Highimpedance Crystallike Inhomogenities Effectiveness.**

**Introduction.** The actuality of the highefficient crystallike inhomogenities development is shown.

Traditional microstrip (MS) and electromagnetic (EC) inhomogenities. Comparative effectiveness analysis of the traditional highimpedance microstrip and EC-inhomogenities is conducted, the attention to the effectiveness limitations is noted.

Comparative analysis of the traditional and three-dimensional EC-inhomogenities effectiveness. It is shown that the three-dimensional inhomogenities is more efficient wavereflector than traditional inhomogenities.

Three-dimensional EC-inhomogenities with unrectilinear signal conductor. Mutual comparative effectiveness analysis of three-dimensional EC-inhomogenities with different design implementation of the signal conductor is done. It is shown that three-dimensional EC-inhomogenities effectiveness is large at about 2,4...3,1 and 1,4...1,8 times in comparison with MS- and typical two-dimensional EC-inhomogenities, respectively. The wave de-

*celeration in three-dimensional EC-inhomogeneity with zigzag signal conductor is more than 1.5, 2.1 and 2.6 times compared to MSL-inhomogeneity, typical two-dimensional EC-inhomogeneity and three-dimensional EC-inhomogeneity with a straight conductor, respectively.*

*Conclusions. The considered three-dimensional EC- inhomogeneities with differing constructive and electric parameters, allow realizing highly effective microstrip devices in various constructive solutions.*

***Keywords:** electromagnetic crystal, EC, frequency selective devices, wave impedance, high impedance EC- inhomogeneity, coefficient of transmission.*