

РІВНЕНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

**ВОЛИНСЬКИЙ
МАТЕМАТИЧНИЙ
ВІСНИК
СЕРІЯ
ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА**

Збірник наукових праць

Випуск 3 (12)

Рівне-2005

"Волинський математичний вісник. Серія прикладна математика" публікує результати досліджень з математичного моделювання і обчислювальних методів та суміжної проблематики в галузі математики, інформатики, механіки. Розрахований на наукових працівників, викладачів вузів, аспірантів та студентів старших курсів.

"Волинский математический вестник. Серия прикладная математика".
The **"Volyn Mathematical Bulletin. Applied Mathematics Series"**.

Редакційна колегія

| | |
|---|---|
| Барановський С.В. | Ляшенко І.М. |
| Бейко І.В. | Мельник В.С. |
| Бомба А.Я. (<i>відповідальний редактор</i>) | Недашківській М.О. |
| Булавацький В.М. | Новіков О.М. |
| Бурак Я.Й. | Петрівський Б.П. |
| Власюк А.П. | Пономаренко Л.А. |
| Войтович М.М. | Пригорницький Д.О. |
| Гарашенко Ф.Г. | Присяжнюк І.М. |
| Гарбарчук В.І. | Савула Я.Г. |
| Дейнека В.С. | Свідзинський А.В. |
| Джунь Й.В. | Скопечкий В.В. (<i>головний редактор</i>) |
| Каштан С.С. (<i>секретар</i>) | Сяський А.О. |
| Климюк Ю.Є. (<i>технічний секретар</i>) | Турбал Ю.В. |
| Кратко М.І. | Чикрій А.О. |
| Кузьменко А.П. | Шваб'юк В.І. |
| Кундрат М.М. | Янчук П.С. |

Видається у Рівненському державному гуманітарному університеті при сприянні Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, навчальних закладів та наукових товариств Волинського регіону. Друкується за ухвалою Вченої ради РДГУ (протокол №10 від 28.05.2005 р.).

Адреса редакції: 33028, Україна, м. Рівне, вул. Остафова, 31,
Рівненський державний гуманітарний університет,
кафедра інформатики та прикладної математики, редакція ВМВ.
Тел.: 8(0362)260-444 . E-mail: vmv@rdgu.rv.ua

Зміст

| | |
|---|----|
| Барановський С.В., Бринда І.В. Про асимптотичне наближення розв'язків одного класу нелінійних задач конвективної дифузії та моделювання процесів деформації поверхні дна криволінійного каналу..... | 5 |
| Бойчук М.В., Шмуригіна Н.М. Моделювання багатосекторної економічної динаміки зростання з лагами | 16 |
| Бомба А.Я., Гаврилюк В.І., Каітан С.С. Застосування методу “фіктивних областей” та методології квазіконформних відображень при моделюванні нелінійно-суфозійних процесів в середовищах з вільними межами | 28 |
| Бомба А.Я., Климюк Ю.Є., Присяжнюк І.М. Розв'язування задач типу “конвекція-масообмін” з урахуванням зворотного впливу | 38 |
| Булавацький В.М. Спроцена математична модель для опису процесу фільтраційної консолідації ґрунтових масивів, насичених сольовими розчинами за умов релаксаційної фільтрації | 45 |
| Глинська М.Л. Математичне моделювання неізотермічного адсорбційного масопереносу для обмежених нанопористих середовищ | 53 |
| Головач Ю.Ю. Розширення функціональності динамічного детектора помилки переповнення буферу | 63 |
| Ємець О.О., Черненко О.О. Моделі задач комбінаторної оптимізації на розміщеннях | 71 |
| Климюк Ю.Є. Чисельно-асимптотичне наближення розв'язків одного класу модельних просторових нелінійних сингулярно збурених крайових задач типу “конвекція-дифузія-масообмін” | 80 |
| Кузьменко А.П., Кузьменко В.М. Розрахунок фільтрації під гідротехнічними спорудами у випадку багатоступеневого перепаду методом декомпозиції області | 94 |

| | |
|--|-----|
| Литвин О.М., Нечуйвітер О.П. Застосування сплайн-інтерлінації функцій до загального методу побудови оптимальних за порядком точності кубатурних формул обчислення подвійних інтегралів від швидкоосцилюючих функцій | 101 |
| Міца О.В., Матяшовська Б.О., Шумило Н.Я. Дослідження впливу похибок параметрів шарів вузькосмугових та широко-смугових фільтрів на стійкість спектральних характеристик ... | 113 |
| Мороз І.П. Математичне моделювання процесу проходження електромагнітних хвиль через діелектричну хвилеводну систему з керуючим елементом на p -і- n -структурі | 124 |
| Поліщук О.Д. Розв'язання задач з похилою похідною для рівняння Лапласа в R^3 за допомогою потенціалу простого шару | 134 |
| Присяжнюк І.М. Асимптотичне наближення розв'язків сингулярно збурених крайових задач конвективної дифузії за умов малого масообміну | 146 |
| Сяський В.А. Односторонній контакт двозв'язного штамп з кутовими точками і криволінійного отвору в нескінченній ізотропній пластинці | 161 |
| Турбал Ю.В. Деякі властивості позитивних напівтраєкторій Жюліа | 175 |
| Фундак Л.І., Цегелик Г.Г. Новий підхід до побудови апарату не-класичних мажорант і діаграм Ньютона функції та його застосування | 186 |
| З історії математики, механіки, інформатики | |
| <i>Академік Микола Боголюбов (до 95-річчя від дня народження)</i> | 201 |
| <i>Ігор Володимирович Скрипник</i> | 208 |
| <i>Олег Миколайович Романів</i> | 210 |

УДК 534.2:621.382

Мороз І.П.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОХОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ ЧЕРЕЗ ДІЕЛЕКТРИЧНУ ХВИЛЕВОДНУ СИСТЕМУ З КЕРУЮЧИМ ЕЛЕМЕНТОМ НА P-I-N-СТРУКТУРИ

Запропоновано математичну модель діелектричної хвильової системи із керуючим елементом, яку можна реалізувати у вигляді інтегральної схеми. Виконано розрахунок основних характеристик системи.

Вступ. В останні роки розвиток радіотехнічних систем зв'язку, навігації, діагностики відбувається в напрямку мініатюризації електронних керуючих схем та підвищення їх робочої частоти. Покращити характеристики радіоелектронних систем дозволяє використання нових матеріалів і нових структурних рішень. Значно підвищує ефективність проектування елементів радіотехнічних систем застосування математичного моделювання.

В галузі техніки надвисоких частот (НВЧ) відбувається активне освоєння міліметрового діапазону хвиль із використанням діелектричних хвильоводних трактів. Актуальним залишається питання створення керуючих елементів НВЧ-систем з оптимальними характеристиками.

Метою цієї роботи є дослідження ефективності застосування

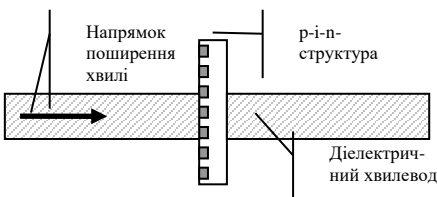


Рис.1. Поперечний розріз хвильової системи

інтегральних р-і-п-структур [1] в якості керуючого елемента діелектричних систем передачі інформації.

Розглянемо хвильоводну систему у вигляді нескінченної діелектричної пластини. У поперечному розрізі пластини

розміщується інтегральна р-і-п-структура, електропровідні властивості якої можуть змінюватись під дією зовнішнього джерела живлення (рис.1).

Уздовж діелектричної пластини перпендикулярно інтегральній структурі поширюється електромагнітна хвиля. У діелектричному шарі можуть поширюватись хвилі різних типів. Для визначеності розглянемо проходження в запропонованій системі парних хвиль типу Е.

Формальна постановка задачі має наступний вигляд.

Необхідно знайти функціональну залежність $t(I) = \left| \frac{E(I)}{E_0} \right|$, де t – коефіцієнт проходження хвиль; E_0 – амплітуда коливань напруженості електричної компоненти хвилі, що падає на р-і-п-структуру; $E(I)$ – амплітуда хвилі, що пройшла через інтегральний р-і-п-діод; I – струм керування р-і-п-структурою.

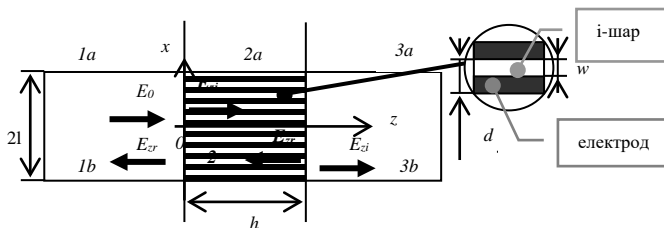


Рис. 2. Модельна схема хвелеводної системи із керуючим елементом

Для пошуку невідомої залежності $E(I)$ застосуємо метод частинних областей. Виділимо підобласті системи, які схематично показані на рис. 2 (1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b). При побудові схеми зроблено припущення, яке спрощує розгляд задачі. А саме: вважаємо, що розмір р-і-п-структури уздовж координатної осі x еквівалентний ширині діелектричної пластинки ($2l$).

У кожній із виділених областей необхідно розв'язати рівняння Гельмгольца [2]:

$$\Delta \vec{\Pi}^e + k_0^2 \varepsilon \mu \vec{\Pi}^e = 0, \quad (1)$$

де $\vec{\Pi}^e$ – електричний вектор Герца; $k_0 = \omega/c$ – хвильове число; ε , μ – діелектрична і магнітна проникності речовини.

Вектори напруженості електромагнітного поля \vec{E} і \vec{H} хвилі визначаються через вектор Герца $\vec{\Pi}^e$ співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= k_0^2 \varepsilon \mu \vec{\Pi}^e + \text{grad div} \vec{\Pi}^e; \\ \vec{H} &= -ik_0 \varepsilon \text{rot} \vec{\Pi}^e. \end{aligned}$$

Відомо, що розв'язок рівняння (1) для випадку парних хвиль має вигляд [2]:

$$\text{для діелектричного шару} - \Pi_z^e(x, z) = A \sin(\alpha x) e^{ihz},$$

$$\text{за межами діелектричного шару} - \Pi_z^e(x, z) = B e^{-p|x|} e^{ihz}.$$

Відповідно, розподіл напруженостей електричного і магнітного полів парної E-хвилі визначається наступними виразами:

- при $|x| < l$

$$\begin{aligned} E_x &= ih_1 \alpha_1 A_1 \cos(\alpha_1 x) e^{ihz}, \\ H_y &= ik_0 \varepsilon_1 \alpha_1 A_1 \cos(\alpha_1 x) e^{ihz}, \\ E_z &= \alpha_1^2 A_1 \sin(\alpha_1 x) e^{ihz}, \\ E_y &= H_x = H_z = 0. \end{aligned} \quad (2.1)$$

- при $|x| > l$

$$\begin{aligned} E_x &= -ih_1 p_1 B_1 e^{ihz - p_1|x|}, \\ H_y &= -ik_0 p_1 B_1 e^{ihz - p_1|x|}, \\ E_z &= p_1^2 B_1 e^{ihz - p_1|x|}, \\ E_y &= H_x = H_z = 0. \end{aligned} \quad (2.2)$$

У виразах (2.1), (2.2) використані наступні позначення: ε – діелектрична проникність хвильоводної системи, $k_0 = \frac{\omega^2 \varepsilon \mu}{c^2}$ – хвильове

число, α – поперечне хвильове число в діелектрику, $-p^2 = k_0^2 - h^2$ – коефіцієнт згасання поля у напрямку осі x , $h = \sqrt{k_0^2 \varepsilon - \alpha^2}$ – повздовжнє хвильове число у діелектрику, A, B – амплітуди коливань хвилі в діелектричному шарі і за його межами.

Істотно спрощує розгляд задачі уявлення про р-і-п-структуру як про однорідну в напрямку x область. Припущення доречне у випадку, коли період повторення елементарних р-і-п-діодів інтегральної структури d (див. рис. 2) малий у порівнянні з товщиною діелектричного шару l ($d \ll l$). Для того, щоб електродинамічні властивості інтегральної структури залишилися незмінними при заміні неоднорідної області однорідною, необхідно використовувати величину ефективної діелектричної проникності, що розраховується за формулою [3]:

$$\frac{1}{\varepsilon_{eff}} = \frac{1}{d} \int_0^d \frac{dx}{\varepsilon(x)}, \quad (3)$$

де $\varepsilon(x)$ – діелектрична проникність і-області р-і-п-структури.

Таким чином, в області р-і-п-структури розв'язок рівняння Гельмгольца має наступний вигляд:

– при $|x| < l$

$$\begin{aligned} E_x &= ih_2 \alpha_2 B_2 \cos(\alpha_2 x) e^{ih_2 z}, \\ H_y &= ik_0 \varepsilon_{2eff} \alpha_2 B_2 \cos(\alpha_2 x) e^{ih_2 z}, \\ E_z &= \alpha_2^2 B_2 \sin(\alpha_2 x) e^{ih_2 z}, \\ E_y &= H_x = H_z = 0; \end{aligned} \quad (4.1)$$

– при $|x| > l$

$$\begin{aligned} E_x &= -ih_2 p_2 A_2 e^{ih_2 z - p_2 |x|}, \\ H_y &= -ik_0 p_2 A_2 e^{ih_2 z - p_2 |x|}, \\ E_z &= p_2^2 A_2 e^{ih_2 z - p_2 |x|}, \\ E_y &= H_x = H_z = 0. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Зміст позначень параметрів рівнянь (4.1), (4.2) аналогічний відповідним параметрам рівнянь (2.1), (2.2).

На границях розділу областей повинні виконуватися умови неперервності тангенціальних компонент електричних і магнітних полів:

$$E_{tga} = E_{tgb}, H_{tga} = H_{tgb} \text{ (у площині } |x| = l); \quad (5.1)$$

$$E_{tg1} = E_{tg2}, H_{tg1} = H_{tg2}; \quad (5.2)$$

$$E_{tg2} = E_{tg3}, H_{tg2} = H_{tg3} \text{ (у площинах } z = 0, z = l). \quad (5.3)$$

Застосування граничних умов (5.1) дозволяє отримати рівняння, що зв'язують невизначені параметри виразів (2.1), (2.2), (4.1), (4.2):

$$\alpha_{1,2}^2 + p_{1,2}^2 = k_0^2 (\varepsilon_{1,2eff} - 1),$$

$$\frac{1}{\varepsilon_{1,2eff}} \alpha_{1,2} l \cdot tg(a_{1,2} l) = p_{1,2} l, \quad (6.1)$$

$$A_{1,2} = -B_{1,2} \cdot \frac{p_{1,2}}{\varepsilon_{1,2eff} \alpha_{1,2}} \cdot \frac{e^{-p_{1,2} l}}{\cos(a_{1,2} l)}. \quad (6.2)$$

Під дією керуючого струму в і-області р-і-п-структури (область 2б, рис. 2) нагромаджуються носії заряду, що змінюють електродинамічні властивості середовища.

Діелектрична проникність і-області р-і-п-структури визначається функцією координати і струму [4]:

$$\varepsilon(x, I) = \varepsilon_0 - i * 4\pi e(\mu_n + \mu_p)n(x, I) / \omega, \quad (7)$$

$$\text{де } n(x, I) = \frac{I L_D \left\{ \frac{1}{D_n} \left(ch \frac{x}{L_D} + \gamma_p L_D sh \frac{x}{L_D} \right) + \frac{1}{D_p} \left(ch \frac{w-x}{L_D} + \gamma_p L_D sh \frac{w-x}{L_D} \right) \right\}}{2e \left\{ \left(1 + \gamma_p \gamma_n L_D^2 \right) sh \frac{w}{L_D} + \left(\gamma_p + \gamma_n \right) l_D ch \frac{w}{L_D} \right\}}.$$

Тут μ_n, μ_p – рухливості відповідно електронів і дірок; D_n, D_p – коефіцієнти дифузії; γ_n, γ_p – відношення коефіцієнтів рекомбінації електронів і дірок на контактах до відповідних коефіцієнтів дифузії; L_D –

довжина амбіполярної дифузії; w – відстань між електродами; e – заряд електрона; I – густина струму інжекції.

Приведені вище вирази отримані в рамках припущення про існування в i -області процесу амбіполярної дифузії [5].

В областях 2a і 2b системи параметр ε_{eff} а, отже, і параметри α, p – комплексні величини. Тому система рівнянь (6.1) для визначення α_2, p_2 через відому величину ефективної діелектричної проникності ε_{eff} шляхом виділення окремо дійсної і комплексної частин зводиться до вигляду:

$$\begin{aligned} & \left[(\varepsilon'^2 - \varepsilon''^2)(x'^2 - x''^2) + 4x'x''\varepsilon'\varepsilon'' \right] \cdot \left[(1 - ch2x'' \cos 2x')^2 - \right. \\ & \left. - (sh2x'' \sin 2x')^2 \right] - 4 \left[x'x''(\varepsilon'^2 - \varepsilon''^2) - \varepsilon'\varepsilon''(x'^2 - x''^2) \right] \times \\ & \times sh2x'' \sin 2x'(1 - ch2x'' \cos 2x') = \left[k_0^2 l^2 (\varepsilon' - 1) - (x'^2 - x''^2) \right] \times \end{aligned} \quad (8.1)$$

$$\begin{aligned} & \times \left[(1 + ch2x'' \cos 2x')^2 + (sh2x'' \sin 2x')^2 \right] (\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2)^2, \\ & 2 \left[(\varepsilon'^2 - \varepsilon''^2)(x'^2 - x''^2) + 4x'x''\varepsilon'\varepsilon'' \right] (1 - ch2x'' \cos 2x') \times \\ & \times sh2x'' \sin 2x' + 2 \left[x'x''(\varepsilon'^2 - \varepsilon''^2) - \varepsilon'\varepsilon''(x'^2 - x''^2) \right] \times \\ & \times \left[(1 - ch2x'' \cos 2x')^2 - (sh2x'' \sin 2x')^2 \right] = \left[k_0^2 l^2 \varepsilon'' - 2x'x'' \right] \times \\ & \times \left[(1 + ch2x'' \cos 2x')^2 + (sh2x'' \sin 2x')^2 \right] (\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2)^2, \end{aligned} \quad (8.2)$$

де $\varepsilon_{eff} = \varepsilon' + i \cdot \varepsilon''$, $\alpha_2 l = x = x' + i \cdot x''$,

$$\begin{aligned} y' = & \left((\varepsilon'x' + \varepsilon''x'') \left[(1 - ch2x'' \cos 2x')^2 - (sh2x'' \sin 2x')^2 \right] - \right. \\ & \left. - (\varepsilon'x'' - x'\varepsilon'') 2sh2x'' \sin 2x'(1 - ch2x'' \cos 2x') \right) / \left((\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2) \times \right. \\ & \left. \times \left[(1 + ch2x'' \cos 2x')^2 + (sh2x'' \sin 2x')^2 \right] \right), \end{aligned} \quad (8.3)$$

$$y'' = ((\varepsilon' x' + \varepsilon'' x'') 2sh2x'' \sin 2x' (1 - ch2x'' \cos 2x') + (\varepsilon' x'' - x' \varepsilon'')) \times \left[(1 - ch2x'' \cos 2x')^2 - (sh2x'' \sin 2x')^2 \right] / ((\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2) \times (8.4) \times \left[(1 + ch2x'' \cos 2x')^2 + (sh2x'' \sin 2x')^2 \right]),$$

$$p_2 l = y = y' + i \cdot y''.$$

Систему нелінійних рівнянь (8.1-8.4) розв'язуємо із застосуванням методу простих ітерацій [6].

Використання умов неперервності (5.2), (5.3) на границях розділу областей 1, 2, 3 (див. рис.2) приводить до наступних рівнянь:

$$E_{xi1} + E_{xr1} = E_{xi2} + E_{xr2}, H_{yi1} + H_{yr1} = H_{yi2} + H_{yr2} \text{ (при } z = 0); \quad (9.1)$$

$$E_{xi2} + E_{xr2} = E_{xi3}, H_{yi2} + H_{yr2} = H_{yi3} \text{ (при } z = h). \quad (9.2)$$

Система рівнянь (9) зв'язує амплітуду падаючої на р-і-п-структуру хвилі й амплітуду хвилі, що пройшла через структуру. Розв'язок системи дозволяє отримати шукане співвідношення у вигляді:

$$t = \left| \frac{E(I)}{E_0} \right| = \frac{1}{\sqrt{\cos^2(h_2(I)b) + \frac{1}{4} \sin^2(h_2(I)b) \left(\frac{h_1 \varepsilon_{2eff}(I)}{h_2(I) \varepsilon_1} + \frac{h_2(I) \varepsilon_1}{h_1 \varepsilon_{2eff}(I)} \right)^2}}.$$

Розрахунки основних характеристик керуючого пристрою виконувались при наступних значеннях параметрів електродинамічної системи: товщина діелектричного шару ($2l$) 1000 мкм для діапазону хвиль 20-45 ГГц і 400 мкм для діапазону хвиль 35-110 ГГц; товщина р-і-п-структури – 50-150 мкм; відстань між електродами р-і-п-структури – 10 мкм; період слідування елементів р-і-п-структури – 20 мкм; діелектрична проникність шару – 12; величина густини керуючого струму 0,0001-0,3 А/см².

На рис. 3-7 наведено результати розрахунків величин повздовжнього і поперечного хвильових чисел як функцій частоти коливаний поля; величин згасання, що вноситься р-і-п-структурою, як функцій керуючого струму і частоти.

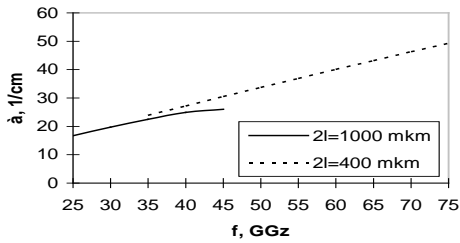


Рис.3. Графіки залежності поперечного хвильового числа від частоти

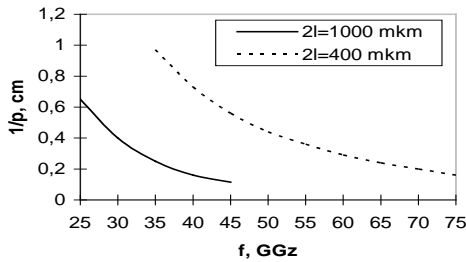


Рис.4. Графіки залежності хвильового числа в діелектрику від частоти

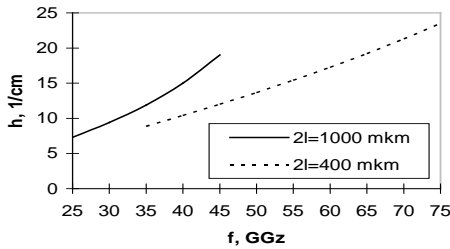


Рис.5. Графіки залежності коефіцієнта згасання поля в поперечному напрямку від частоти

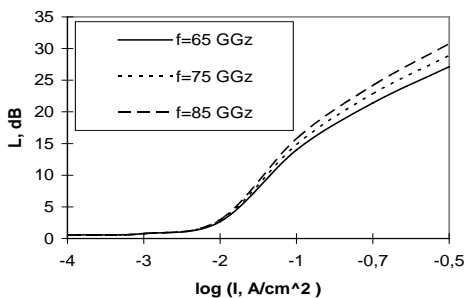


Рис.6. Графіки залежності згасання, що вноситься р-і-п-структурою, від величини керуючого струму

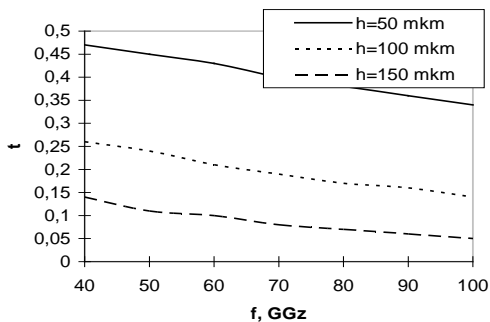


Рис.7. Графіки згасання, що вноситься р-і-п-структурою, від частоти

Аналіз результатів розрахунків, які виконані на основі розгляду запропонованої математичної моделі проходження електромагнітних хвиль через електродинамічну систему із елементом керування, дозволяє зробити висновок про те, що розглянута система має задовільні керуючі властивості. Так, при зміні густини струму в діапазоні 0-0.3 А/см², послаблення сигналу складає 0-30 dB. У межах робочого частотного діапазону зміна рівня сигналу не перевищує 2 dB.

Таким чином, у ході виконання цієї роботи запропоновано:

1) схему керуючого пристрою НВЧ міліметрового діапазону, що може бути виготовлена в інтегральному виконанні;

2) математичну модель для аналізу побудованої електродинамічної системи;

3) методику розрахунку основних характеристик керуючого пристрою (величини згасання, що вноситься структурою, від керуючого струму; діапазону зміни керуючого струму; характерних геометричних розмірів системи; амплітудно-частотних характеристик).

1. А.с. №1250117 (СССР). СВЧ-модулятор / Кищенко Я.И., Кошечая С.В., Смойловский М.И., Солтамов У.Б., Пятъшев Е.Н.- 1984, ДСП.- 2 с.
2. *Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П.* Теория волн.- М.: Наука, 1990.- 432 с.
3. *Витлина Р.З., Дыхне А.М.* Отражение электромагнитных волн от поверхности с мелким рельефом // ЖЭТФ.- 1991.- Т.99.- Вып. 6.- С. 367-374.
4. *Кошечая С.В., Гримальский В.В., Кищенко Я. И., Мороз И.П.* Управляющие свойства поверхностно-ориентированной р-і-n-структуры // Изв. вузов. Радиоэлектроника.- №4.- 1997.- С. 71-79.
5. *Адирович Э.И., Карагеоргий-Алкалаев П.М., Лейдерман А.Ю.* Токи двойной инжекции в полупроводниках. Под ред. Гальперина.- М.: Советское радио, 1978.- 320 с.
6. *Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.* Численные методы.- М.: Наука, 1987.- 598 с.

Рівненський державний гуманітарний університет

E-mail: igor_moroz@yahoo.com

Надійшла 20.09.2005

Мороз И.П. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ВОЛНОВОДНУЮ СИСТЕМУ С УПРАВЛЯЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ НА Р-І-N-СТРУКТУРЕ // *Предложено математическую модель диэлектрической волноводной системы с управляющим элементом, которую можно реализовать в виде интегральной схемы. Выполнен расчет основных характеристик системы.*

Moroz I.P. THE MATHEMATICAL MODELING OF THE ELECTROMAGNETIC WAVE PROPAGATION THROUGH THE DIELECTRIC WAVEGUIDE WITH THE P-I-N-STRUCTURE CONTROL ELEMENT // *The mathematical model of the dielectric waveguide system with the control element, which may construct as integrated scheme, is presented. The calculations of the system main characteristics are executed.*