

УДК 621.372.8

**МОДЕЛЮВАННЯ РЕЗОНАНСНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ  
ХВИЛЕВІДНИХ ВСТАВОК З ПРЯМОКУТНИМ ОТВОРОМ  
ДЛЯ ПЕРЕСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ  
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ**

І. В. Грималюк<sup>1</sup>, д. ф.-м. н. О. О. Дробахін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут технічної механіки НАНУ та НКАУ,

<sup>2</sup>Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

Україна, м. Дніпропетровськ

Irysjka@email.ua, drobakhino@mail.ru

*В даній роботі розглядається вплив діелектричної проникності підкладки на резонансні властивості досліджуваної системи на основі хвилевідних вставок з прямокутним отвором. Отримано графіки залежності коефіцієнтів відбиття та передачі від частоти при зміні розмірів та властивостей підкладки, досліджено поведінку електричного поля всередині вставки.*

*Ключові слова:* резонансна система, хвилевідна вставка, напівпровідниковий генератор.

НВЧ-резонатори знайшли широке застосування при створенні різноманітних генераторних пристроїв та датчиків. Так, наприклад, для вимірювання фізичних властивостей матеріалів можуть бути використані генератори з квазіоптичною резонансною системою [1]. Відомі конструктивні рішення по створенню транзисторних генераторів на основі мікросмужкових ліній в комбінації з щілинними антенами [2], які у вигляді чіпів монтуються в прямокутний хвилевід. В цьому випадку виникає питання впливу електричних властивостей матеріалу підкладки, його товщини, а також геометричних розмірів щілини на резонансну частоту, а отже, і на частоту генерації електромагнітних коливань. Ці питання на даний момент висвітлені не в повній мірі. Крім того, смужкові антени не є єдиним способом збудження хвилевідних ліній передач. Так, в [3, 4] використовуються так звані низькопрофільні антени, що представляють собою товстий металевий фланець з прямокутним отвором малої висоти. Модифікація товстого металевого фланця в хвилевідну вставку з аналогічним прямокутним отвором і є предметом даної роботи.

Мета цієї роботи — вивчення впливу матеріалу підкладки на резонансні властивості ланцюга, який задає частоту напівпровідникових генераторів.

Моделлю для розгляду ланцюга, який задає частоту, була обрана металева хвилевідна вставка з прямокутним отвором. З обох сторін вставка межує з прямокутними хвилеводами, які в загальному випадку мають різні розміри поперечного перерізу. Схематичне зображення досліджуваної системи представлено на рис. 1. Вибір хвилеводів з різними розмірами мотивовано тією обставиною, що в більшому за розмірами хвилеводі з'являється можливість більшого вибору топології генераторної частини системи. В даній роботі розглянуто випадок, коли прямокутні хвилеводи, що знаходяться з обох сторін вставки, мають стандартні розміри поперечного перерізу  $23 \times 10$  мм.

Аналіз структури електромагнітного поля в довгій хвилевідній вставці, який було проведено за методикою, представленою в [5], дозволяє припустити, що для типу коливань  $H_{101}$  з'являється можливість реалізації електронного перестроювання частоти, наприклад за допомогою варакторного діода. Як відомо [6], для електронного перестроювання частоти використовується модель, яка конструктивно представляє собою короткозамкнутий хвилевід. При цьому активний елемент розташовується в одному мінімумі електричного поля, а варакторний діод — в іншому. Слід зазначити, що при реалізації генератора з варакторним перестроюванням частоти на стандартних хвилеводах довжина генераторної секції буде приблизно в два рази більше, ніж у секції на основі хвилевідної вставки з прямокутним отвором.

Виходячи з цього, можна припустити, що у разі використання хвилевідної вставки з прямокут-

ним отвором як тої, що задає частоту (при цьому варакторний діод розташовується в її центрі, тобто в мінімумі електричного поля), діапазон електронного перестроювання частоти буде більшим.

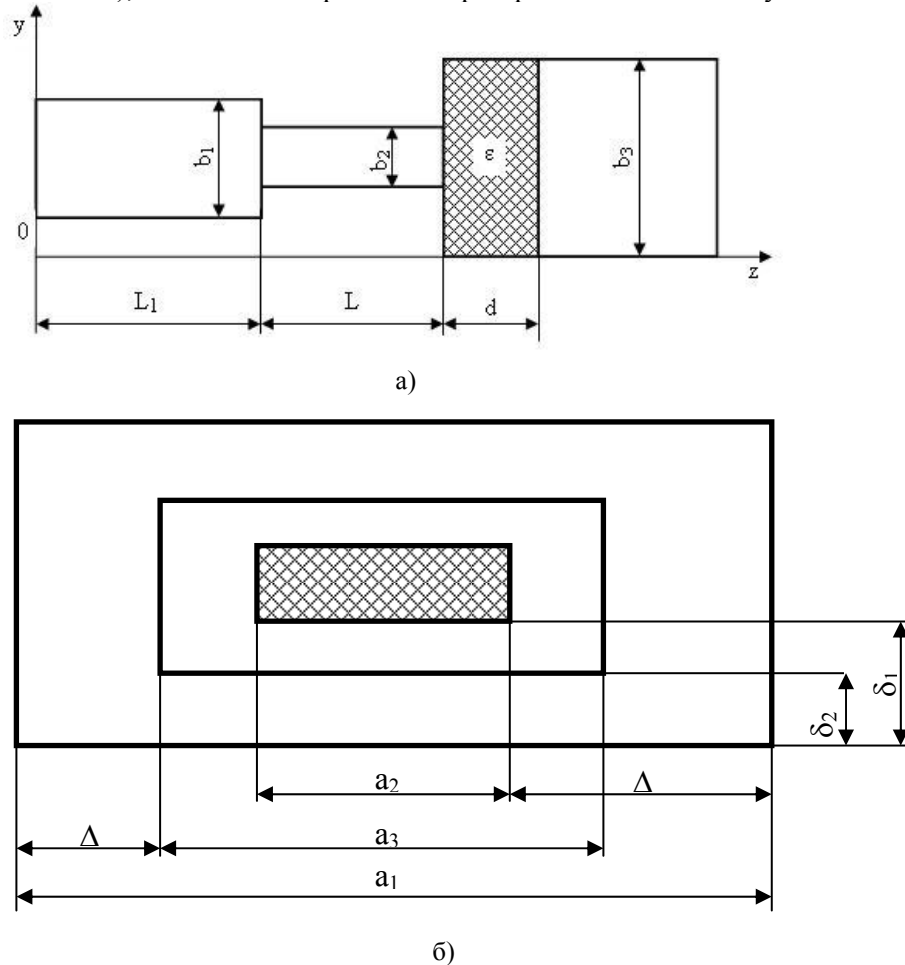


Рис. 1. Повздовжній (а) та поперечний (б) перерізи системи, що розглядається

Для варіанта електронного перестроювання частоти при наявності діелектричної підкладки, яка асиметрично розташовується щодо хвилевідної вставки і на якій реалізується топологія генераторної частини, виникає необхідність вивчення розподілу електричного поля всередині вставки, оскільки наявність діелектричної підкладки викликає зсув мінімуму напруженості електричного поля. Проведення такого аналізу необхідно для визначення місця розташування варакторного діода. У разі варіанту механічного перестроювання частоти може бути використаний і основний тип  $H_{100}$  коливань. Для цього варіанту перестроювання частоти може бути здійснене шляхом переміщення діелектричної пластини в прямокутному отворі паралельно його вузькій стінці. Перевага перестроювання частоти за рахунок переміщення зразка діелектрика полягає в тому, що порівняно з перестроюванням за допомогою переміщення металевих елементів не потрібно забезпечувати надійний електричний контакт.

В даній роботі досліджуються резонансні властивості прямокутної вставки, які аналогічно можуть бути використані й для П-подібної та інших форм довгих вставок. Вибір саме прямокутної хвилевідної вставки пояснюється тим, що це найбільш простий тип неоднорідності.

При внесенні зразка діелектрика відбувається послаблення електричного поля всередині вставки. Відповідно, і при збільшенні діелектричної проникності використовуваного матеріалу зменшується частота резонансу. В роботі проведено дослідження вставок з діелектричними проникностями від 1 до 10. Отримані частотні характеристики коефіцієнтів відбиття та передачі, а також криві залежності мінімумів коефіцієнта відбиття  $R$  та максимумів коефіцієнта передачі  $T$  від діелектричної проникності (рис. 2). Дослідження проведено для діелектриків з малими втратами  $\text{tg}\delta=0,001$ , а також для ідеальних зразків ( $\text{tg}\delta=0$ ). При використанні діелектриків без втрат було проведено перевірку закону збереження енергії, який виконувався у всіх випадках для  $\text{tg}\delta=0$ . Для розрахунків застосовується методика,

яка описана в [5]. За допомогою дробово-раціональної апроксимації [7] досліджено положення полюсів та нулів функції для розрахованих коефіцієнтів відбиття (рис. 2), проведена оцінка комплексних резонансних частот.

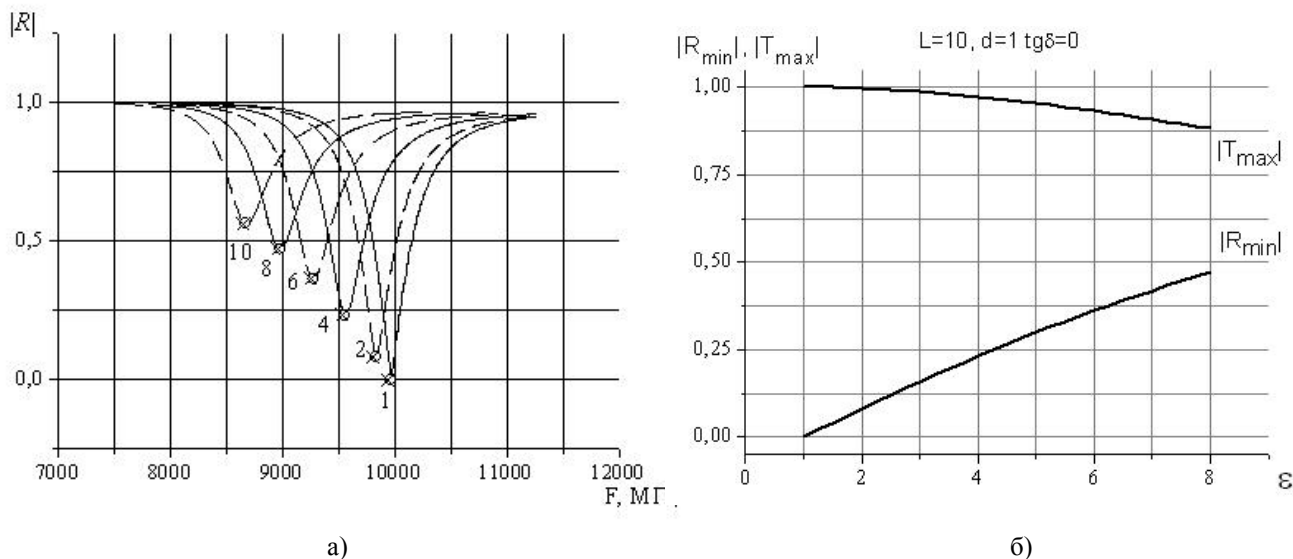


Рис. 2. Частотна залежність модуля коефіцієнта відбиття (а) хвилевідної вставки  $23 \times 10 \times 10$  мм з прямокутним отвором  $15 \times 1$  мм та діелектричним паралелепіпедом  $23 \times 10 \times 1$  мм, який прилягає до вихідної площини стрибка поперечного перерізу при  $\text{tg}\delta=0,001$  для різних значень його діелектричної проникності (позначено цифрами), полюси (x) та нулі функції (o); порівняння залежності  $T_{max}$  і  $R_{min}$  від діелектричної проникності (б)

Поведінка резонансних кривих досліджується для вставок різної довжини (5, 10, 20, 25 мм), з діелектриком різної товщини (0,5; 1; 1,5 мм). Проведено аналіз впливу діелектричної проникності, геометричних розмірів вставки та зразка на частотні характеристики резонансної системи напівпровідникових генераторів. На рис. 3 зображено залежність резонансної частоти від діелектричної проникності для вставок довжиною 5 і 10 мм для зразків різної товщини. Розглянуто поведінку електричного поля всередині вставки для коливань типів  $H_{100}$  та  $H_{101}$ .

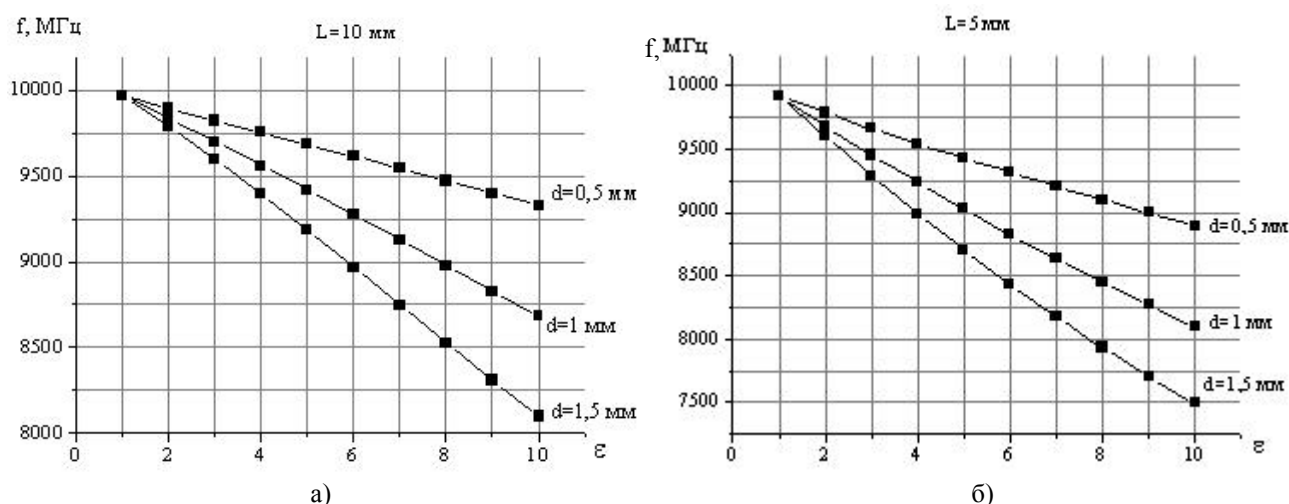


Рис. 3. Залежність резонансної частоти хвилевідної вставки  $23 \times 10$  мм при її довжині 10 мм (а) та 5 мм (б) з прямокутним отвором  $15 \times 1$  мм від діелектричної проникності паралелепіпеда розміром  $23 \times 10$  мм, що прилягає до вставки, для зразків різної товщини діелектрика

Застосування хвилевідної вставки з прямокутним отвором є доцільним, в першу чергу, через простоту конструктивної реалізації. Також воно має переваги ще й в тому, що дозволяє автоматично погоджувати мікросмужкову частину генератора з вихідним хвилеводом, тобто не потрібно додаткових елементів для узгодження мікросмужкової лінії передачі з хвилевідною. Можна рекомендувати

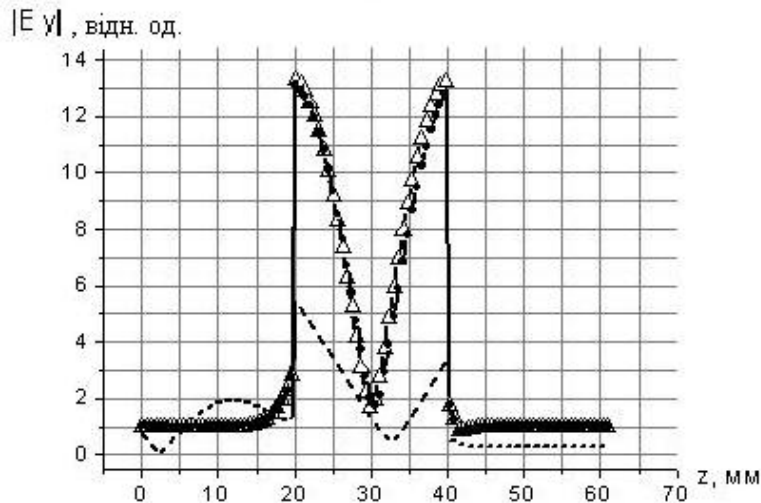


Рис. 4. Розподіл модуля напруженості електричного поля в прямокутному хвилеводі  $23 \times 10 \times 60$  мм з металевою вставкою  $23 \times 10 \times 20$  мм з прямокутним отвором  $15 \times 1$  мм і пластинкою діелектрика  $23 \times 10 \times 1$  мм, яка прилягає до хвилевідної вставки (тип коливань  $H_{101}$ ). Пунктирна лінія –  $\varepsilon = 10$  (11184 МГц), круглий маркер –  $\varepsilon = 2$  (12145 МГц), трикутний маркер –  $\varepsilon = 1$  (12320 МГц)

використовувати діелектричні підкладки з невеликою діелектричною проникністю, оскільки аналіз розподілу напруженості електричного поля всередині вставки (рис. 4) показав, що мінімуми напруженості електричного поля для  $\varepsilon = 1 - 2$  практично співпадають і розташовуються в центрі вставки.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Антипенко Р. В., Мачуский Е. А., Першин Н. А. Активный квазиоптический измеритель физических свойств материалов // Радиоэлектроника.– 2004.– № 8.– С. 79–80.
2. Антипенко Р. В. Поперечно-планарный транзисторный генератор СВЧ // Радиоэлектроника.– 2000.– № 9.– С. 57–61.
3. Beruete M., Campillo I., Dolado J. S. et al. Low-Profile Corrugated Feeder Antenna // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.– 2005.– Vol. 4.– P. 378–380.
4. Beruete M., Campillo I., Dolado J. S. et al. Very Low Profile and Dielectric Loaded Feeder Antenna // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.– 2007.– Vol. 6.– P. 544–548.
5. Грымалюк И. В. Резонансные явления в трехсекционной системе с зауженной центральной секцией // Прикладная радиоэлектроника.– 2012.– Том 11, № 3.– С.435–439.
6. Царапкин Д. П. Генераторы СВЧ на диодах Ганна.– М.: Радио и связь, 1982.
7. Andreev M. V., Borulko V. F., Drobakhin O. O., Saltykov D. Yu. Determination of Parameters of Fractional-Rational Model Using Interpolation by Continued Fraction // Proc. of XI-th IC “ММЕТ - 06” – Kharkov, Ukraine.– 2006.– P. 264–266.

I. V. Grymalyuk, O. O. Drobakhin

#### **Design of the resonant system based on the waveguide insertions with a rectangular hole for the frequency tuning of semiconductor generators.**

The influence of dielectric conductivity on the resonance properties of the system based on waveguide insertions with a rectangular hole is considered in this paper. The graphs of the frequency versus reflection and transmission coefficients has been obtained for different sizes and properties of the substrate. Electric field behavior inside the insertion has been investigated.

Keywords: *resonant system, waveguide insertion, semiconductor generator.*