

## Твердотельная электроника

УДК 621.372.41

**Д.Д. Татарчук**, канд. техн. наук, **В.І. Молчанов**, канд. техн. наук, **Ю.В. Діденко**, канд. техн. наук,  
**А.С. Франчук**

Національний технічний університет України «КПІ»,  
вул. Політехнічна, 16, м Київ, 03056, Україна.

### Фільтри НВЧ на основі тонких діелектричних резонаторів

У статті показано принцип створення фільтрів НВЧ на основі тонких діелектричних резонаторів. Представлено варіанти конструкцій таких фільтрів. Описано методику й наведено результати їх теоретичних та експериментальних досліджень. Бібл. 5, рис. 4.

**Ключові слова:** тонкий діелектричний резонатор; резонансна частота; фільтри НВЧ; добротність; НВЧ параметри.

#### Вступ

Розвиток систем зв'язку привів до виникнення розгалуженої інформаційної мережі, яка охоплює майже весь світ. Надійність і ефективність функціонування такої глобальної мережі значною мірою залежить від якості пристроїв приймання, передавання й оброблення інформації, що, у свою чергу, приводить до необхідності розробки нового більш ефективного обладнання. Суттєве місце серед такого обладнання займають засоби бездротового зв'язку, одним із найважливіших функціональних вузлів яких є різноманітні фільтри НВЧ.

Проведені нами дослідження показали, що одним з перспективних напрямків розвитку в області конструювання фільтрів НВЧ є використання тонких діелектричних резонаторів (ДР) [1]. Тому мета даної роботи – показати на основі теоретичних та експериментальних досліджень можливість створення якісних фільтрів НВЧ на основі тонких діелектричних резонаторів. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати ряд задач, основними серед яких є розробка адекватної математичної моделі тонких діелектричних резонаторів, розробка та експериментальне дослідження конструкцій фільтрів на їх основі.

#### І. Фільтри на основі тонких діелектричних резонаторів

У роботах [1, 2] було показано, що, за певних умов, у тонких діелектричних резонаторах

виникають високочастотні резонансні коливання.

Математично резонансні системи на основі тонких резонаторів можна описати за допомогою системи рівнянь Гельмгольца (1) за відповідних умов на межах поділу областей (2) [3, 4, 5]:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \Gamma_i^e + \varepsilon_i \mu_i k^2 \Gamma_i^e &= 0; \\ \nabla^2 \Gamma_i^m + \varepsilon_i \mu_i k^2 \Gamma_i^m &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} n \times (E_i - E_j) &= 0; \\ n \cdot (E_i \varepsilon_i - E_j \varepsilon_j) &= \rho_{cs}; \\ n \times (H_i - H_j) &= j_s; \\ n \cdot (H_i \mu_i - H_j \mu_j) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\vec{\Gamma}^e, \vec{\Gamma}^m$  – електричний і магнітний вектори Герца відповідно,  $\varepsilon_i$  – діелектрична проникність  $i$ -ої області резонансної системи,  $\mu_i$  – магнітна проникність  $i$ -ої області резонатора,  $j_s$  – нормальна до межі поділу областей компонента густини струму,  $\rho_{cs}$  – поверхнева густина заряду на межі поділу областей.

Отримана система рівнянь може бути розв'язана числовими методами. Похибка розрахунків, як правило, не перевищує 1...2% при розрахунку частот і 5...7% при розрахунку добротності резонансної системи [2].

За допомогою наведеної математичної моделі було проведено розрахунки резонансних частот і добротностей різноманітних конструкцій фільтрів на основі тонких діелектричних резонаторів. На основі аналізу числових результатів нами було обрано дві конструкції фільтрів на основі відрізків прямокутного хвилеводу (рис.1,2). Такий вибір був зумовлений тим, що дані конструкції мають прийнятні для практичного використання характеристики і можуть бути експериментально досліджені за допомогою наявних в нашій лабораторії засобів.

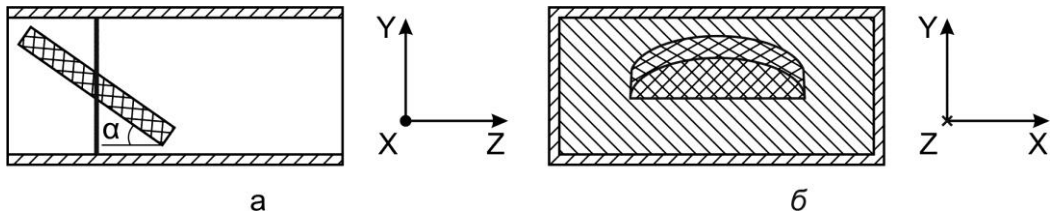


Рис. 1. Конструкція смугопропускного фільтру на основі тонкого діелектричного резонатора: а – вид збоку; б – вид спереду

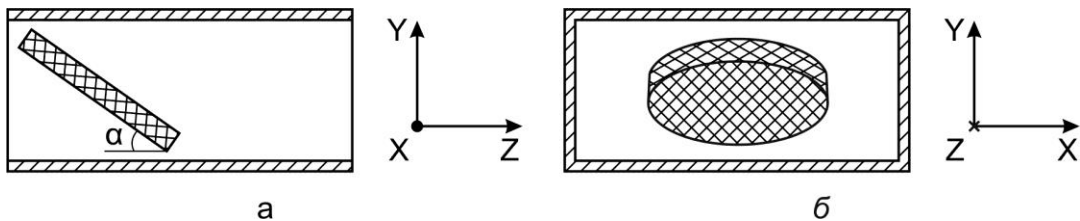


Рис. 2. Конструкція смугозагороджувального фільтру на основі тонкого діелектричного резонатора: а – вид збоку; б – вид спереду

Обрана конструкція фільтру являє собою діелектричну пластинку (тонкий діелектричний резонатор) діаметром  $D = 12,83$  мм і товщиною  $h = 0,63$  мм ( $h / D = 0,05$ ) виготовлену з кераміки ТЦ35 ( $\text{BaTi}_4\text{O}_9 + \text{ZnO}$ ), що має діелектричну проникність  $\epsilon = 35 \dots 37$ , і розміщену у прямокутному хвилеводі вздовж напрямку розповсюдження електромагнітних хвиль під кутом  $\alpha = 10^\circ$  до широкої стінки хвилеводу. Як тримач пластинки можна використати матеріал, який має на НВЧ проникність близьку до одиниці. Для реалізації смугопропускного фільтру (рис. 1) поперечний

переріз хвилеводу необхідно перекрити металеву пластинкою із щілиною, крізь яку вставляється тонкий діелектричний резонатор.

## II. Результати експериментальних досліджень

Експериментальне дослідження виготовлених макетів фільтрів на основі тонких ДР проведено за допомогою панорамного вимірювача. Досліджувані макети підключали до вимірювального кола згідно схеми, наведеної на рис. 3.

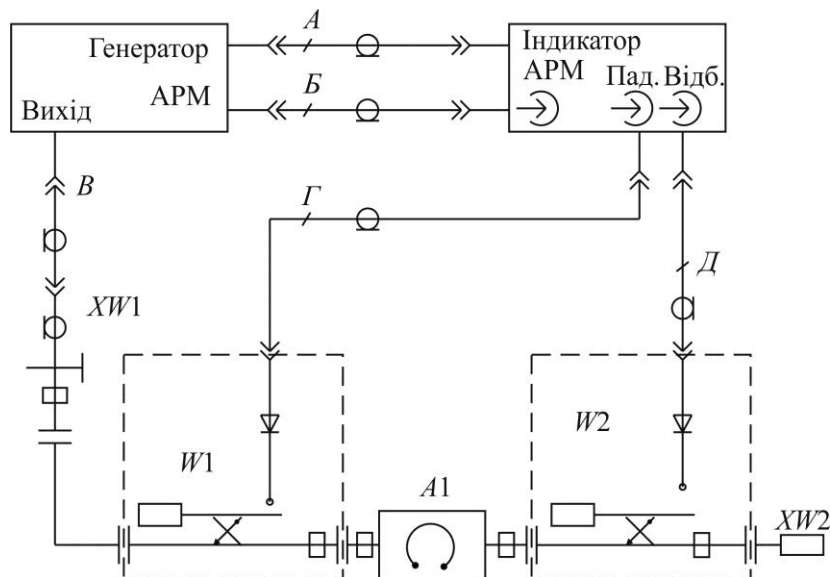
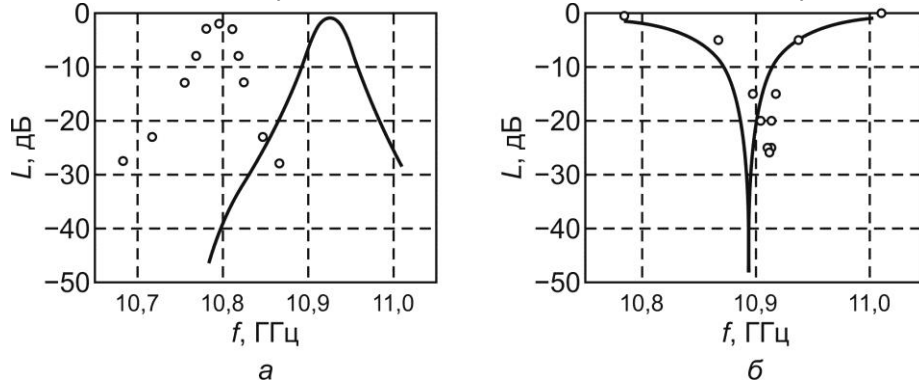


Рис. 3. Схема підключення макету фільтру до панорамного вимірювача: А1 – досліджуваний макет; W1, W2 – рефлектометри падаючої та відбитої хвиль; XW1 – коаксіальний перехід; XW2 – узгоджене навантаження; А, Б, В, Г, Д – високочастотні коаксіальні кабелі

Результати моделювання і експериментального дослідження наведено на рис. 4.



**Рис. 4.** Результати моделювання та експериментального дослідження смугопропускового (а) та смугозагороджувального (б) фільтрів на основі тонких діелектричних резонаторів

З наведених залежностей видно, що досліджені макети мають характеристики придатні для практичного використання. Результати експериментальних досліджень добре узгоджуються з теоретичними розрахунками. Невідповідність розрахованого та експериментального значень центральної частоти смугопропускового фільтра (рис. 4, а), не перевищує 1%.

#### Висновки

На основі тонких діелектричних резонаторів можуть бути створені фільтри НВЧ з характеристиками прийнятними для практичного використання.

Резонансні частоти й добротності таких фільтрів можна з високою точністю розрахувати на основі числового розв'язку системи рівнянь Гельмгольца за відповідних умов на межах поділу областей фільтра. Похибка розрахунку не перевищує 1...2% при розрахунку частот і 5...7% при розрахунку добротності резонансної системи.

Результати експериментальних досліджень добре узгоджуються з теоретичними розрахунками. Різниця між теоретичними і експериментальними результатами не перевищує похибки вимірювань, що дозволяє автоматизувати розробку фільтрів на основі тонких ДР.

Отримані результати є засновком до створення фільтрів НВЧ на основі тонких діелектричних резонаторів.

#### Список використаних джерел

1. Татарчук Д.Д. Тонкие диэлектрические резонаторы миллиметрового диапазона длин волн / Д.Д. Татарчук, В.И. Молчанов, Ю.В. Диденко, А.С. Франчук // *Electronics and Communications*. – 2015. – Т. 20. – №6(89). – С. 6–10.
2. Молчанов В.І. Вимірювання НВЧ параметрів діелектричних матеріалів методом тонкого діелектричного резонатора / В.І. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук, А.С. Франчук // *Electronics and Communications*. – 2015. – Vol. 20. – №1(84). – РР. 23–26.
3. Ильинский А.С. Математические модели электродинамики: учеб. пособие для вузов / А.С. Ильинский, В.В. Кравцов, А.Г. Свешников. – М.: Высш. шк., 1991. – 224 с.
4. Григорьев А.Д. Резонаторы и резонаторные замедляющие системы СВЧ: численные методы расчёта и проектирования / А.Д. Григорьев, В.Б. Янкевич. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
5. Безбородов Ю.М. Фильтры СВЧ на диэлектрических резонаторах / Ю.М. Безбородов, Т.Н. Нарытник, В.Б. Фёдоров. – К.: Техника, 1989. – 184 с.

Поступила в редакцию 23 сентября 2016 г.

УДК 621.372.41

**Д.Д. Татарчук**, канд. техн. наук, **В.И. Молчанов**, канд. техн. наук, **Ю.В. Диденко**, канд. техн. наук, **А.С. Франчук**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
ул. Политехническая, 16, г. Киев, 03056, Украина.

## **Фильтры СВЧ на основе тонких диэлектрических резонаторов**

*В статье показан принцип создания фильтров СВЧ на основе тонких диэлектрических резонаторов. Представлены варианты конструкций таких фильтров. Описана методика и приведены результаты их теоретических и экспериментальных исследований. Библи. 5, рис. 4.*

**Ключевые слова:** тонкий диэлектрический резонатор; резонансная частота; фильтры СВЧ; добротность; СВЧ параметры.

UDC 621.372.41

**D. Tatarchuk**, Ph.D., **V. Molchanov**, Ph.D., **Y. Didenko**, Ph.D., **A. Franchuk**

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»,  
st. Polytechnique, 16, Kyiv, 03056, Ukraine.

## **Microwave filters based on thin dielectric resonators**

*In this paper the principle of microwave filters design based on thin dielectric resonators is presented. Variants of construction of such filters are shown. The technique and the results of theoretical and experimental studies are described. Reference 5, figures 4.*

**Keywords:** thin dielectric resonators; resonance frequency; microwave filters; quality factor; microwave parameters.

### **References**

1. *Tatarchuk, D. D., Molchanov, V. I., Didenko, Y. V., Franchuk, A. S. (2015). Thin dielectric millimeter waveband resonators. Electronics and Communications. Vol. 20, No 6(89), pp. 6 – 10. (Rus)*
2. *Molchanov, V. I., Pashkov, V. M., Tatarchuk, D. D., Franchuk, A. S. (2015). The measurement of dielectric materials microwave parameters by thin dielectric resonator method. Electronics and Communications. Vol. 20, no. 1(84), pp. 23 – 26. (Rus)*
3. *Ilinskii, A. S., Kravtsov, V. V., Sveshnikov, A. G. (1991). Mathematical models of electrodynamics. Moscow, High school. P. 224.*
4. *Grigorev, A. D., Yankevich, V. B. (1984). Resonators and resonator UHF slowing system: numerical methods of calculation and design. Moscow, Radio and communication. P. 248.*
5. *Bezborodov, Y. M., Narytnik, T. N., Fedorov, V. B. (1989). Microwave filters based on dielectric resonators. Kyiv, Tekhnika. P. 184.*