

## Твердотільна електроніка

УДК 621.372.41

DOI: [10.20535/2312-1807.2017.22.1.79003](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2017.22.1.79003)Татарчук Д. Д., к.т.н., OrcID [0000-0003-1171-6701](https://orcid.org/0000-0003-1171-6701)e-mail [dmitry.tatarchuk@gmail.com](mailto:dmitry.tatarchuk@gmail.com)Молчанов В. І., к.т.н., OrcID [0000-0002-7937-4552](https://orcid.org/0000-0002-7937-4552)e-mail [profkom@kpi.ua](mailto:profkom@kpi.ua)Діденко Ю. В., к.т.н., OrcID [0000-0001-7305-8519](https://orcid.org/0000-0001-7305-8519)e-mail [yu.didenko@kpi.ua](mailto:yu.didenko@kpi.ua)Франчук А. С., OrcID [0000-0002-8350-564X](https://orcid.org/0000-0002-8350-564X)e-mail [franchuk\\_anton@ukr.net](mailto:franchuk_anton@ukr.net)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### НВЧ ФАЗООБЕРТАЧІ НА ОСНОВІ ТОНКИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЗОНАТОРІВ

У статті показано принцип створення на основі тонких діелектричних резонаторів НВЧ фазообертачів з електромеханічним керуванням фазою сигналу. Представлено варіанти конструкцій таких фазообертачів. Описано методику й наведено результати їх теоретичних та експериментальних досліджень.

Бібл. 3, рис. 4.

**Ключові слова:** тонкий діелектричний резонатор, резонансна частота, НВЧ фазообертач, зсув фаз, електромеханічне керування.

**Вступ.** У сучасній електроніці широко використовують пристрої, які працюють у надвисокочастотному (НВЧ) діапазоні. Так діапазон 900...2200 МГц використовують у стільниковій телефонії, частоти в околі 2 ГГц – у роботі космічних телеметричних та тропосферних комунікаційних систем, які забезпечують зв'язок на великих відстанях тощо. Для підвищення ефективності роботи пристроїв НВЧ електроніки необхідно підвищувати їх якість. Насамперед це стосується засобів зв'язку. До важливих функціональних вузлів такого обладнання відносять різноманітні резонансні НВЧ пристрої такі як фільтри та резонансні фазообертачі. Їх використовують у панорамних прийमाках, антенних решітках, базових станціях стільникових телефонів тощо.

Проведені нами дослідження показали, що одним з перспективних напрямків розвитку в області конструювання резонансних НВЧ пристроїв є використання тонких діелектричних резонаторів (ДР) [1]. У попередній роботі [2] нами показано можливість створення на основі тонких ДР фільтрів НВЧ діапазону. Мета даної роботи – спираючись на теоретичні та експериментальні дослідження, показати можливість

створення на основі тонких діелектричних резонаторів фазообертачів НВЧ з електромеханічним керуванням фазою сигналу.

**І. Фазообертачі на основі тонких діелектричних резонаторів.** У роботах [1], [2] було показано, що резонансна частота тонкого ДР суттєво залежить від багатьох факторів. Одним з важливих чинників, що впливають на резонансну частоту тонкого ДР, розміщеного у прямокутному хвилеводі, є кут нахилу ДР відносно широкій стінки хвилеводу (кут  $\alpha$  на рис. 1, а) у площині XOZ (напрямок осі OZ збігається з напрямком поширення електромагнітної хвилі).

Залежність резонансної частоти тонкого ДР від кута нахилу приводить до змінювання фазочастотних характеристик відрізка лінії, яка містить тонкий ДР. Цей принцип може бути використаний для створення на основі тонких ДР фазообертачів з електромеханічним керуванням. На рис. 1, б наведено модельовані й експериментальні результати дослідження залежності резонансної частоти від кута нахилу ДР, розміщеного у прямокутному хвилеводі. Параметри ДР:  $\epsilon = 35$ ,  $D = 12,8$  мм,  $L = 0,63$  мм.



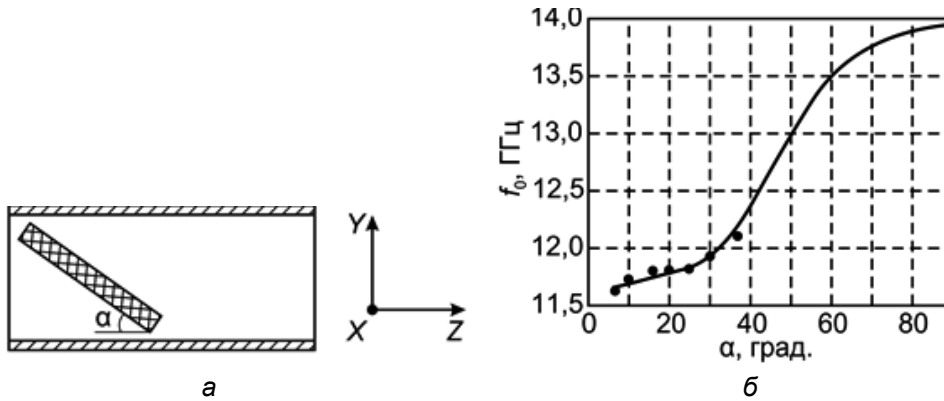


Рис 1. Розміщення тонкого ДР у прямокутному хвилеводі (а) та залежність резонансної частоти тонкого ДР від величини кута нахилу до широкій стінки хвилеводу (б)

Найпростіший фазообертач відбивного типу реалізується при вмиканні ДР у короткозамкнуту лінію передачі НВЧ.

Для визначення ФЧХ такого фазообертача розглянемо проходження сигналу через хвилеводну секцію з ДР, який розташований на деякій відстані  $X_0$  від площини короткого замикання. Коефіцієнт відбиття такої лінії можна представити у вигляді:

$$\Gamma = \frac{1 - K - Ke^{-j2\beta X_0} + j\xi}{1 + K + Ke^{-j2\beta X_0} + j\xi}, \quad (1)$$

де  $\Gamma$  – коефіцієнт відбиття, що залежить від частоти  $\omega$ ,  $\beta = (2\pi)/\lambda$  – повздовжнє хвильове число,  $K$  – коефіцієнт зв'язку резонатора з хвилеводом, а  $\xi$  – узагальнений розлад. У свою чергу узагальнений розлад описується виразом:

$$\xi = Q \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right), \quad (2)$$

де  $Q$  – добротність резонатора.

Тоді на підставі формул (1) та (2) для розрахунку ФЧХ хвилеводної секції отримуємо співвідношення для розрахунку фази сигналу  $\varphi$ :

$$\varphi = \arctg \frac{2K(\sin(2\beta X_0) + \xi \cos(2\beta X_0) + \xi)}{1 - 2K^2 - 2K^2 \cos(2\beta X_0) + \xi^2}.$$

Якщо у вибраній конструкції фазообертача відстань від площини короткого замикання  $X_0 = (n\lambda)/2$ , то вираз для розрахунку фази значно спрощується:

$$\varphi = \arctg \frac{4K\xi}{1 - 4K^2 + \xi^2}.$$

Коефіцієнт зв'язку резонатора з хвилеводом можна вирахувати за методикою викладеною в [3].

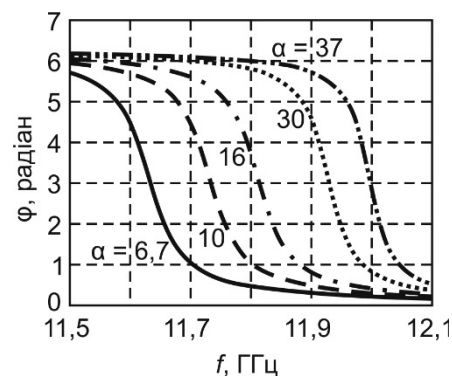


Рис. 2. Фазочастотні характеристики фазообертача на основі циліндричного ДР при різних значеннях кута нахилу резонатора до широкій стінки хвилеводу

На рис. 2 наведено розраховані за вищеприписаною методикою фазочастотні характеристики фазообертача на основі циліндричного ДР діаметром  $D = 12,8$  мм та товщиною  $h = 0,63$  мм ( $h/D = 0,05$ ), виготовленого із НВЧ кераміки з діелектричною проникністю  $\epsilon = 35$

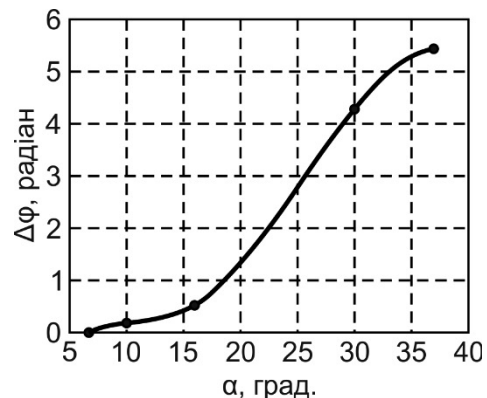


Рис. 3. Залежність зсуву фази відбитого сигналу у фазообертачі від кута нахилу резонатора (на частоті 11,9 ГГц)

З рисунка видно, що зміна кута нахилу ДР приводить до зміни фази відбитого сигналу на одній із робочих частот.

На рис. 3 наведено теоретичну та експериментальну залежності зсуву фази відбитого сигналу від кута нахилу резонатора для вищеприписаного фазообертача.

Із залежності, наведеної на рис. 3, видно, що при зміні кута нахилу резонатора від 7 до 37

градусів фаза зсувається майже на  $2\pi$  радіан, що достатньо для практичного застосування фазообертачів на основі тонких ДР. Точний поворот ДР можна здійснити за допомогою крокового мікродвигуна, керованого мікроконтролером.

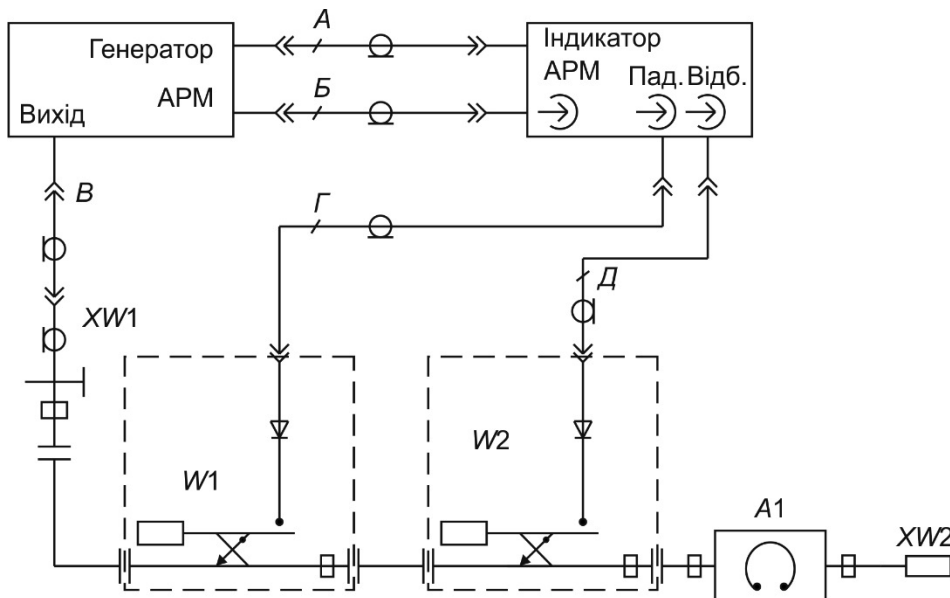


Рис. 4. Схема вимірювання параметрів фазообертача: А1 – досліджуваний макет; W1, W2 – рефлектометри падаючої та відбитої хвиль; XW1 – коаксіальний перехід; XW2 – короткозамикач; А, Б, В, Г, Д – високочастотні коаксіальні кабелі

Експериментальне дослідження фазообертачів на основі тонких ДР проведено за допомогою панорамного вимірювача. На рис. 4 наведено схему вимірювального кола.

**Висновки.** На основі тонких діелектричних резонаторів можуть бути створені керовані фазообертачі НВЧ з характеристиками прийнятними для практичного застосування. У фазообертачі відбивного типу можна отримати зсув фази до  $2\pi$  радіан при зміні кута нахилу резонатора від 7 до 37 градусів.

Високоточне керування фазою таких фазообертачів можна забезпечити за рахунок викори-

стання крокового мікродвигуна, керованого мікроконтролером.

Результати експериментальних досліджень добре узгоджуються з теоретичними розрахунками. Різниця між теоретичними і експериментальними результатами не перевищує 10%, що дозволяє автоматизувати розробку фазообертачів на основі тонких діелектричних резонаторів.

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

*Надійшла до редакції 04 жовтня 2016 р.*

#### Література:

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.

DOI: [10.20535/2312-1807.2015.20.6.53334](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2015.20.6.53334)



2. Татарчук Д.Д. Частотно-селективные структуры на основе тонких диэлектрических резонаторов /Д. Д. Татарчук // Electronics and Communications. – 2016. – Т. 21. – №3(92). – С. 6–9. DOI: [10.20535/2312-1807.2016.21.3.67181](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2016.21.3.67181)
3. Ильченко М.Е. Ферритовые и диэлектрические резонаторы СВЧ / М. Е. Ильченко, Е.В. Кудинов. – К. : Изд. Киевского университета, 1973. – 175 с.

УДК 621.372.41

**Татарчук Д. Д.**, к.т.н., OrCID [0000-0003-1171-6701](https://orcid.org/0000-0003-1171-6701)

e-mail [dmitry.tatarchuk@gmail.com](mailto:dmitry.tatarchuk@gmail.com)

**Молчанов В. И.**, к.т.н., OrCID [0000-0002-7937-4552](https://orcid.org/0000-0002-7937-4552)

e-mail [profkom@kpi.ua](mailto:profkom@kpi.ua)

**Диденко Ю. В.**, к.т.н., OrCID [0000-0001-7305-8519](https://orcid.org/0000-0001-7305-8519)

e-mail [yu.didenko@kpi.ua](mailto:yu.didenko@kpi.ua)

**Франчук А. С.**, OrCID [0000-0002-8350-564X](https://orcid.org/0000-0002-8350-564X)

e-mail [franchuk\\_anton@ukr.net](mailto:franchuk_anton@ukr.net)

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## ФАЗОВРАЩАТЕЛИ СВЧ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

*В статье показан принцип создания фазовращателей СВЧ на основе тонких диэлектрических резонаторов. Представлены варианты конструкций таких фазовращателей. Описана методика и приведены результаты их теоретических и экспериментальных исследований.*

*Библ. 3, рис. 4.*

**Ключевые слова:** тонкий диэлектрический резонатор, резонансная частота, фазовращатель, СВЧ параметры

UDC 621.372.41

**Tatarchuk D. D.**, PhD, OrCID [0000-0003-1171-6701](https://orcid.org/0000-0003-1171-6701)

e-mail [dmitry.tatarchuk@gmail.com](mailto:dmitry.tatarchuk@gmail.com)

**Molchanov V. I.**, PhD, OrCID [0000-0002-7937-4552](https://orcid.org/0000-0002-7937-4552)

e-mail [profkom@kpi.ua](mailto:profkom@kpi.ua)

**Didenko Yu. V.**, PhD, OrCID [0000-0001-7305-8519](https://orcid.org/0000-0001-7305-8519)

e-mail [yu.didenko@kpi.ua](mailto:yu.didenko@kpi.ua)

**Franchuk A. S.**, OrCID [0000-0002-8350-564X](https://orcid.org/0000-0002-8350-564X)

e-mail [franchuk\\_anton@ukr.net](mailto:franchuk_anton@ukr.net)

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

## MICROWAVE PHASE SHIFTERS BASED ON THIN DIELECTRIC RESONATORS

*In this paper the principle of microwave phase shifters design based on thin dielectric resonators is presented. Variants of construction of such phase shifters are shown. The technique and the results of theoretical and experimental studies are described.*

*Ref. 3, fig. 4.*

**Keywords:** thin dielectric resonators, resonance frequency, microwave phase shifters, microwave parameters

### References



- [1]. D. D. Tatarchuk, V. I. Molchanov, Y. V. Didenko, and A. S. Franchuk, "Tonkie dielektricheskie rezonatoryi millimetrovogo diapazona dlin voln [Thin Dielectric Resonators of the Millimeter Waves Range]," *Electron. Commun.*, vol. 20, no. 6, pp. 6–10, May 2015. DOI: [10.20535/2312-1807.2015.20.6.53334](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2015.20.6.53334)
- [2]. D. D. Tatarchuk, "Chastotno-selektivnyie strukturyi na osnove tonkih dielektricheskikh rezonatorov [Thin Dielectric Resonators of the Millimeter Waves Range]," *Electron. Commun.*, vol. 21, no. 3, pp. 6–9, Oct. 2016. DOI: [10.20535/2312-1807.2016.21.3.67181](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2016.21.3.67181)
- [3]. M. Y. Ilchenko and E. V. Kudinov, *Ferritovyie i dielektricheskie rezonatoryi SVCh [Ferrite and dielectric microwave resonators]*. Kyiv: Kievskiy universitet, 1973.

