

ня харчових продуктів мікрохвильовою енергією на частоті 2450 МГц, яка розподіляє енергію електромагнітного поля магнетрона на чотири рівні частини. Опромінююча структура на частоті 2450 МГц має КСХ=1.464, камера має КСХ=3.52. Проведено розрахунок електромагнітних полів в камері при даному розташуванні в ній посудин з досліджуванним продуктом. Основною задачею подальших досліджень потрібно вважати пошук радіуса дзеркала для зменшення електромагнітного поля поза межами дзеркала, на стінках камери та зменшення КСХ.

**Література**

1. Найденко В.І., Суліма Є.А., Шумаков Д.С., Лебедев О.О. Розрахунок електромагнітних полів в пристрої для озолення харчових продуктів//Вісник НТУУ «КПІ» Серія – Радіотехніка Радіоапаратобудування, -2007. – Вип. 35. – 157 с.
2. Резонансное рассеивание волн. Т. 2. Волноводные неоднородности/ Шестипалов В.П., Кириленко А.А., Рудь Л.А. – Киев: Наук. Думка, 1986. - 216 с.
3. Shi Cheng, oth. Reduction of the coupling to external sources and modes of propagation by a nearly confocal resonator, IEEE Trans. on MTT, v.55, № 10, Oct.2007.
4. Вайнштейн Л.А. Открытые резонаторы и открытые волноводы, М. Сов.радио, 1966.
5. Волков В.Н., др. Высокочастотная нагрузка высших мод одномодового резонатора на 178 МГц./Ин-т ядерной физики им. Г.И. Будкера. 630090, Новосибирск, 2002.

<b>Ключові слова:</b> мікрохвильова піч, озолення продуктів, електромагнітне поле	
Найденко В.И., Шумаков Д.С., Лебедев А.А.	Najdenko V.I., Shumakov D.S., Lebedev A.A.
<b>Результаты разработки микроволновой печи для озоления пищевых продуктов</b>	<b>Results of development of microwave stove for food products' incinerating</b>
Определены размеры и способ облучения камеры для озоления пищевых продуктов, размещения в ней емкостей с продуктом	The calculation sizes and the electromagnetic radiation in a stove at given location of vessels with the explored product is conducted.

УДК 621.3.029.6

**ШИРОКОСМУГОВІ НЕВЗАЄМНІ ПАСИВНІ ПРИСТРОЇ ДІАПАЗОНУ ДУЖЕ ВИСОКИХ ЧАСТОТ**

*Вунтесмері В.С., Стоколос М.О.*

*Розглянуто класифікацію не взаємних пасивних пристроїв та проведено короткий опис їх конструкцій та характеристик. Проаналізовано сучасний стан не взаємних пасивних феритових пристроїв діапазону дуже високих частот та узагальнені напрямки подальшого вдосконалення основних технічних характеристик.*

Відомо, що до не взаємних пасивних мікрохвильових пристроїв відносять такі пристрої як циркулятори та вентилі [1,2]. За десятиліття з моменту їх винаходу [3,4] зроблено багато типів цих пристроїв, що відрізняються за конструкцією, способом роботи та властивостями, але усі вони базуються на особливих властивостях матеріалу, що в них застосовується, а саме – фериту. Тому не в останню чергу характеристики цих пристроїв залежать від характеристик феритів, що застосовуються для їх побудови.

**Конструктивні особливості не взаємних пристроїв**

*Резонансний вентиль*

Принцип роботи резонансного вентиля базується на явищі не взаємного поглинання при феромагнітному резонансі [5]. Такий вентиль являє собою ділянку прямокутного хвилеводу із феритовим зразком всередині, який під-

магнічується постійним магнітним полем. Особливістю резонансних вентилів є те, що поглинання зворотної хвилі відбувається в самому фериті.

Просування резонансних вентилів в сторону більш низьких частот стикається із різними проблемами. Технічні труднощі в основному пов'язані з тим, що з переходом до більш довгих хвиль розміри пристрою ростуть і конструкція стає громіздкою. Крім того, у діапазоні ультрависоких частот (УВЧ) послабляються невзаємні явища та зростають магнітні втрати у фериті.

#### *Вентиль на ефекті «зміщення поля»*

Хоча реалізація циркулятора на цьому явищі можлива, але більш практичними пристроями є вентиля. Такий вентиль [6] представляє собою відрізок прямокутного хвилеводу, в якому розміщена доволі товста феритова пластина, покрита з однієї сторони поглинаючим шаром. На хвилевід одягається магніт, утворюючий поле в поперечному напрямку потрібної величини. Електричне поле прямої хвилі в місці розташування плівки має мінімальне значення. Таким чином, плівка буде створювати малий вплив на пряму хвилю, у той час як зворотна хвиля буде інтенсивно затухати у ній. Просуванню вентилів на зміщенні поля у діапазон дуже високих частот (ДВЧ) заважає те, що значення робочого поля зі зменшенням частоти падає, а тому втрати у фериті збільшуються. Оскільки робочі значення поля у даних типах вентилів у декілька разів нижче ніж у випадку резонансних вентилів, вони є менш підходящими для використання в області більш низьких частот.

#### *Фазовий циркулятор*

Елементи, які називаються невзаємними фазообертачами [7], являють собою ділянку прямокутного хвилеводу, що містить феритову пластину, намагнічену у напрямку, перпендикулярному широкій стінці хвилеводу. У поєднанні з хвилеводними мостами вони дають можливість реалізувати різні типи циркуляторів, що отримали широке поширення в мікрохвильовій техніці. Зі збільшенням довжини хвилі початкові втрати та втрати, пов'язані із феромагнітним резонансом, накладаються один на одного, що робить неможливим створення невзаємних фазообертачів із високою добротністю, які працюють в області до резонансних полів. Інша складність просування в сторону більш довгих хвиль пов'язана зі збільшенням розмірів хвилеводів, що робить систему в цілому вельми громіздкою.

#### *Циркулятор на ефекті Фарадея*

Циркулятор на ефекті Фарадея [8] базується на властивості обертання площини поляризації радіочастотної хвилі під дією магнітних моментів фериту. Ці пристрої можуть виконуватись як на круглих, так і прямокутних хвилеводах. Більшість пристроїв, що використовують ефект Фарадея – вентиля. Вони мають тільки вхідне та вихідне плече і поглинають хвилі, які перпендикулярні до їх резистивної пластини. Вентилі на ефекті Фарадея розробляються для роботи на більш високих частотах, а у нас час – як оптичні вентиля для оптичних волокон.

*Кільцевий циркулятор*

Формується трьома з'єднаннями та трьома невзаємними фазозсувачами [9]. У діапазоні ДВЧ практично не застосовується.

*Циркулятор мостового типу*

Циркулятори мостового типу [10, =11] являють собою хвилеводне (або коаксіальне) розгалуження, в якому розміщений намагнічений феритовий зразок. Наявність фериту надає мосту невзаємні властивості.

Просуванню мостових циркуляторів в сторону більш низьких частот сприяє та обставина, що вони можуть працювати при полях, які перевищують резонансне значення поля. Циркулятори мостового типу найбільш підходящі, із розглянутих вище, для використання у діапазоні ДВЧ.

*Циркулятор на крайовій хвилі*

В широких трипластинчатих чи мікросмужкових лініях високочастотні струми протікають по обох краях (лівому та правому) внутрішнього провідника. Між внутрішнім і зовнішнім провідником розташовують намагнічений феритовий зразок. У результаті високочастотний струм проходить по одному краю внутрішнього провідника у випадку прямої хвилі і по іншому краю – при зворотній хвилі. Ця властивість може використовуватись для конструювання циркуляторів, але зазвичай з використанням цього ефекту роблять широкосмугові вентиля [9].

*Циркулятор на схемі із зосередженими параметрами*

Розглянувши описані вище невзаємні пасивні пристрої можна зробити загальний висновок, що більшість з них при роботі у діапазонах ДВЧ та УВЧ будуть мати великі габарити та масу. Тому з метою подолання даного недоліку у 60-х роках було розроблено конструкцію циркулятора із використанням пасивних елементів, що мають зосереджені параметри, тобто опорів, ємностей та індуктивностей. Першим, хто запропонував новий пасивний невзаємний пристрій із використанням таких елементів, є японський вчений-дослідник Йошихіро Коніші [12]. Крім нього приблизно у той самий час також почали займатись цією темою європейські вчені, такі як J. Deutsch, В. Wieser [13] та Н. Vosma [14]. Головним елементом є невзаємне з'єднання, яке часто називають ізодуктором, що складається з одного або двох підмагнічених феритових дисків та, найчастіше, трьох зв'язаних котушок індуктивності, розташованих під кутом 120 градусів. Зовні цієї конструкції розміщуються екрануючі провідники. Конструкції з двома феритовими дисками мають більш широку смугу через більший невзаємний коефіцієнт заповнення [16]. Також вони можуть оперувати більшою потужністю, ніж однодискові конструкції, через більший об'єм фериту [17]. З іншої сторони, однодискові конструкції більш корисні при застосуванні технології інтегральних мікрохвильових схем. Що стосується форми фериту, то якщо порівнювати шароподібну, стрижневу та дискову форми, найнижчі резонансні частоти можна отримати саме при використанні фериту

у вигляді диска [13]. На рис.1 наведено схематичне зображення ізодуктора з двома феритовими дисками. У якості внутрішнього провідника можна використати різні конструкції. Конкретний тип вибирається в залежності від діапазону робочих частот, необхідних характеристик всього пристрою, простоти виготовлення тощо. Приклади деяких центральних частин зв'язку ізодуктора наведені на рис.2.

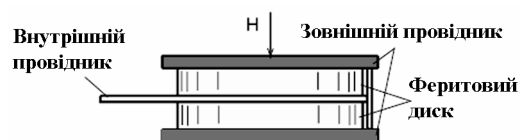


Рис. 1.

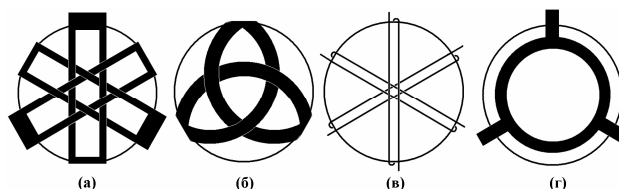


Рис.2.

Конструкція рис. 2(а) [12] має найбільше значення коефіцієнта заповнення. Однак конструкція рис. 2(г) [18] виготовляється більш легко, так як не має ніяких перетинів, але може бути застосована тільки у діапазоні надвисоких частот. Для більш довгохвильового діапазону потрібні котушки з достатньо великою індуктивністю, а тому вони повинні мати багатовиткову конструкцію, як на рис. 2(в). Застосування центрального провідника рис. 2 (б) описано у [19]. Детальні дослідження показують [13], що конфігурація котушки індуктивності має суттєвий вплив на досяжні значення розв'язки та втрат і, насамперед, на співвідношення цих двох величин.

Максимальну широкосмуговість можна отримати за рахунок: узгодження з лініями зв'язку або навантаженнями у більш широкому діапазоні частот; ретельного підбору матеріалу фериту; правильного вибору величини постійного магнітного поля підмагнічування фериту. З теорії кіл відомо, що трипліччя являє собою циркулятор, якщо воно без втрат та узгоджене по всіх трьох плечах. Ширина смуги, у межах якої циркулятор узгоджений, зростає з кількістю елементів узгодження. Однак це призводить до зростання внесених втрат та розмірів пристрою. Вимірювання показали [12], що в кожного елемента узгодження є усереднений коефіцієнт ослаблення 0.04 дБ, котрий означає, що кожний додатковий елемент узгодження збільшує внесені втрати на 0.08 дБ. Тому рекомендується використовувати таку систему котушок індуктивності, яка може бути узгоджена з використанням мінімуму елементів. У [20] також пропонується для зменшення кількості елементів узгодження застосовувати конденсатори з дисперсійними характеристиками. Але зазначається, що, як впливає з відношення Крамерса-Кронінга, втрати у такому конденсаторі неминучі, що також приводить до збільшення внесених втрат самого пристрою.

На частотах вище 1 ГГц робота з малими втратами може бути реалізована у до резонансному режимі. У цьому випадку ширина смуги, як показало багато робіт [21], при ретельному виборі феромагнітного матеріалу може скласти близько октави. Робота вище феромагнітного резонансу у діапазонах ДВЧ та УВЧ накладає певні обмеження на вибір феромагнітного

матеріалу та постійного поля підмагнічування, а саме: ширина смуги не повинна обмежуватись дисперсією та втратами сигналу при передачі; при слабкому полі не повинні з'являтися втрати через недонасичення фериту.

Проведений аналіз технічних характеристик (смуга робочих частот, втрати, розв'язка) сучасних невзаємних пристроїв діапазону ДВЧ, які випускаються провідними світовими виробниками, показав, що лише одиниці з представлених пристроїв працюють у діапазоні ДВЧ і мають при цьому відносно велику ширину смуги. Крім того більшість пристроїв не використовують елементи із зосередженими параметрами, а тому мають на цих частотах порівняно великі габарити.

Невзаємні пасивні феритові пристрої знаходять застосування для розв'язки високочастотних сигналів радіоапаратури різного призначення. В діапазонах від 2 ГГц і вище ці пристрої реалізуються в хвилеводному виконанні. Нижче 2 ГГц хвилеводні невзаємні пристрої мають великі габарити, тому здійснюється перехід до смужкових ліній передачі. Феритові пристрої на смужкових лініях передачі з розподіленими параметрами можуть застосовуватись від 0,5 до 2 ГГц. У діапазоні дуже високих частот невзаємні пасивні пристрої на лініях передачі мають великі розміри і можуть бути застосовані для високих рівнів потужності. Для середніх потужностей можуть бути використані і використовуються невзаємні пристрої на елементах із зосередженими параметрами. Крім того феритові пристрої у діапазоні дуже високих частот є вузькосмуговими. Для розв'язки сигналів у сучасній апаратурі необхідна широкосмуговість елементів схеми, що пояснює інтерес до розглянутих питань і їх актуальність.

#### **Література**

1. Cacheris J.C., Sakiotis N.G. Ferrite components for UHF- and microwave systems // Electronics. - September 1961. - Vol. 34. - P. 37-42.
2. Seidel H. Compact passive nonreciprocal structures for UHF-frequencies // J. Appl. Phys. - April 1959. - Vol. 30S. - P. 156S.
3. Hogan C.L. The ferromagnetic Faraday effect at microwave frequencies and its applications // Rev. Modern Phys. - 1953. - Vol. 25. - P. 253.
4. Tellegen B.D.H. The gyrator, a new electric network element // Philips Res. Repts. - April 1948. - Vol. 3. - P. 81-101.
5. Sakiotis N.G., Chait H.N. Properties of ferrites in waveguides // IEEE Trans. on MTT. - November 1953. - Vol. 1. - №2. - P. 11-16.
6. Button K.J. Theoretical analysis of the operation of the field displacement ferrite isolator. // IEEE Trans.on MTT. - July 1958. - Vol. 6. - №3. - P. 303-308.
7. Микаэлян А. Л. Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах. - М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 664 с.
8. Hogan C. The microwave gyrator // Bell Sys. Tech. J. - January 1952. - Vol. 31. - P. 1.
9. Ewing S.D., Weiss J.A. Ring circulator theory, design, and performance. // IEEE Trans.on MTT. - November 1967. - Vol. 15. - №11. - P. 623-628.
10. Fay C.E., Comstock R.L. Operation of the ferrite junction circulator. // IEEE Trans. on MTT. - January 1965. - Vol. 13. - №1. - P. 61-72.
11. Chait H., Curry T. Y-circulator // J. Appl. Phys. March 1959. - V. 30. P. 152S-153S.
12. Konishi Y. Lumped element Y circulator//IEEE Trans.on MTT. 1965. V. 13.№6.
13. Deutsch J., Wieser B. Resonance Isolator and Y Circulator with Lumped Elements at VHF // IEEE Trans. on Magnetics. - September 1966. - Vol. 2. - №3. - P. 278-282.
14. Bosma H. A General Model for Junction Circulators; Choice of Magnetization and

- Bias Field // IEEE Trans.on Magnetics. September 1968. Vol. 4. - №3. - P. 587-596.
15. Knerr R. A Compact Broad-Band Thin-Film Lumped-Element L-Band Circulator // IEEE Trans.on MTT. - December 1970. - Vol. 18. - №12. - P. 1100-1108.
16. Konishi Y. New Theoretical Concept for Wideband Gyromagnetic Devices // IEEE Trans.on Magnetics. - September 1972. - Vol. 8. - №3. - P. 505-508.
17. Konishi Y. A High-Power UHF Circulator // IEEE Trans.on MTT. - December 1967. - Vol. 15. - №12. - P. 700-708.
18. Knerr R. A Lumped Element Circulator without Crossovers // IEEE Trans.on MTT. - May 1974. - Vol. 22 - №5. - P. 544-548.
19. Aitchison C. S. et al. Lumped-Circuit Elements at Microwave Frequencies // IEEE Trans.on MTT. - December 1971. - Vol. 19 - №12. - P. 928-937.
20. Konishi Y. Lumped Element Circulator // IEEE Trans.on Magnetics. - September 1975. - Vol. 11. - №5. - P. 1262-1266.
21. Simon J.W. // IEEE Trans.on MTT. - January 1965. - Vol. 13. - №. - P. 15-27.
22. Dorado International Corporation, <http://www.dorado-intl.com/>.
23. Valvo Bauelemente GmbH, <http://www.valvo.com/>.

<b>Ключові слова:</b> невяземні пристрої, вентиля, циркулятори	
Вунтесмери Вл.С., Стоколос М.А.	Vuntesmeri Vl.S., Stokolos M.A.
<b>Широкополосные невяземные пассивные устройства диапазона очень высоких частот</b>	<b>The broadband nonreciprocal passive devices of very high frequencies</b>
Рассмотрено классификацию невяземных пассивных устройств и проведено краткое описание их конструкций. Проанализировано современное состояние невяземных пассивных ферритовых устройств и обобщены направления дальнейшего усовершенствования основных технических характеристик.	It is observed classification of nonreciprocal passive devices and the short description of their constructions and characteristics are made. The condition of modern instrument making of nonreciprocal passive ferrite devices at VHF is analysed and development directions of the technical data are generalised

УДК621.372.82

## ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ПЕЧІ В РАДІОЛОГІЇ ДЛЯ ГОТУВАННЯ ПРОБ НА ВИМІР АКТИВНОСТІ ВИПРОМІНЮЮЧИХ НУКЛІДІВ

*Найденко В.І., Лебедев О.О.*

*Розглядається можливість та ефективність застосування мікрохвильової печі для приготування проб на вимір активності випромінюючих нуклідів у харчових продуктах*

В радіології для готування проб для виміру активності бета- гама- випромінюючих нуклідів у лічильних зразках спектрометричним методом використовується три методи підготовки проб:

1. Лічильний зразок складається з речовини проби.
2. Лічильний зразок готується за допомогою методик радіохімічного концентрування.
3. Лічильний зразок готується фізичним концентруванням (висушування, обвуглювання, озолення). [1]

У першому випадку сума значень об'ємної (питомої) активності досліджуваного зразка і похибки може перевищувати припустимі рівні для основної групи продуктів, приведені в нормативних документах (ДР-2006 [2], обов'язковий мінімальний перелік.. [3] і т.д.). У цьому випадку значення похибки може бути зменшено, збільшуючи час експозиції (лічби) на приладі, що звичайно недостатньо, або застосовуючи радіохімічний метод