

ПЛІВКОВІ ДИСКОВІ РЕЗОНАТОРИ НА ОСНОВІ МАГНІТОСТАТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРІВ НВЧ

*Кудінов Є.В., к.т.н., ст. наук. співробітник
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

Генератори НВЧ з електричним перестроюванням частоти є невід'ємним елементом систем радіозв'язку, радіолокації, радіонавігації, багатьох радіовимірвальних приладів. Поєднання таких властивостей, як низький рівень фазових шумів, широкий діапазон електричного перестроювання, висока технологічність виготовлення, мала потужність управління і споживання, більш низький рівень фазових шумів, генератори з використання частото задаючих елементів (ЧЗЕ) на основі магнітостатичних коливань і хвиль в епітаксіальних феритових плівках мають безперечні переваги у порівнянні з найближчим аналогом - генераторами на ЗПГ-сферах [1]. В даний час набула поширення кільцева схема побудови генератора, в якій плівковий частото задаючий елемент міститься в кільці позитивного зворотного зв'язку активного елементу – малощумлячого підсилювача НВЧ, а відбір потужності коливань, що генеруються, здійснюється за допомогою спрямованого відгалужувача (рис. 1).

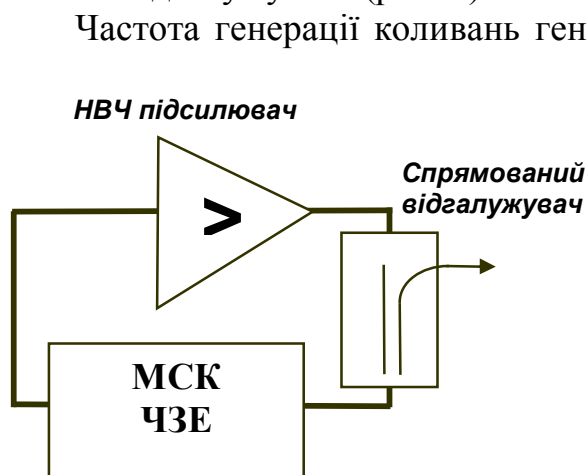


Рис. 1 Кільцева схема побудови генератора

Частота генерації коливань генератором, що є підсилювачем, охопленим зворотним зв'язком, визначається умовою балансу фаз при одночасному виконанні умови балансу амплітуд. Ясно, що можливість виконання балансу амплітуд в основному визначає амплітудно-частотна характеристика ЧЗЕ. Якщо як ЧЗЕ використовується резонатор на основі магнітостатичних коливань (МСК-резонатор) або його комбінація з лінією затримки на магнітостатичних хвилях (МСХ), то максимум амплітудно-частотної

характеристики відповідає певним значенням довжини магнітостатичної хвилі, причому ця умова зберігається при перестроюванні частоти генерації зміною постійного магнітного поля електромагніту. Унікальність цієї властивості МСХ важко переоцінити, і означає це те, що при перестроюванні генератора з ЧЗЕ на основі МСК, наприклад, від 1 до 20 ГГц довжина

МСХ практично не змінюється, а, отже, залишаються незмінними і характерні розміри плівкового МСК-резонатора в якості ЧЗЕ. Саме ця властивість визначає принципову можливість проектування генераторів з перестроюванням в широкому діапазоні частот.

Іншою найважливішою особливістю ЧЗЕ на основі МСК є висока крутизна його фазочастотної характеристики. Це у свою чергу визначає високу фіксуючу здатність ЧЗЕ відносно частоти і фази коливань, що генеруються, і, як наслідок, низький рівень фазових шумів. Таким чином, згадані властивості ЧЗЕ на основі МСК визначають можливість побудови мікрохвильових генераторів, що поєднують електричне перестроювання в широкому діапазоні частот з низьким рівнем фазових шумів.

Постановка задачі

Із викладеного вище зрозуміло, що вибір конструкції та параметрів плівкового МСК-резонатора є такими, що головним чином визначають характеристики генератора.

Дослідження плівкових резонаторів виконуються вже багато років [2,3]. Але при виконанні цих досліджень, як на наш погляд, недостатньо уваги приділялось дисковому МСК-резонатору. Тому при виконанні роботи ставилась задача експериментального вивчення властивостей резонатора на основі магнітостатичних коливань в епітаксимальній плівці залізо-ітрієвого гранату у формі диска.

Теоретичні відомості

У дисковому резонаторі існують види коливань, що характеризуються неоднорідним розподілом амплітуди і фази високочастотної намагніченості по об'єму резонатора (аналогічно розподілу амплітуди і фази поля для видів коливань діелектричного резонатора). Ці види коливань збуджуються неоднорідним високочастотним магнітним полем, хоча причиною їх збудження може бути і неоднорідність постійного магнітного поля.

Строге рішення задачі про види коливань феритового резонатора вимагає сумісної інтеграції рівняння руху високочастотної намагніченості Ландау-Ліфшица і рівнянь Максвелла з урахуванням граничних умов на поверхні резонатора. Але, якщо резонатор має достатньо малі розміри, то можна замість загальних рівнянь Максвелла використовувати їх частинний вигляд – рівняння магнітостатики. В цьому випадку види коливань феритового резонатора називають магнітостатичними.

Розв'язки рівнянь для магнітостатичного потенціалу усередині і поза резонатором, що має форму еліпсоїда обертання, були зшиті відповідно до граничних умов на поверхні резонатора і задовольняли вимозі регулярності на нескінченності. Дисковий плівковий резонатор (рис. 2) слід розглядати як вироджену форму еліпсоїда обертання, розмір якого у напрямі осі обертання прагне до нуля.

Урахування граничних умов приводить до рівняння для власних частот магнітостатичних видів коливань дискового резонатора [4]:

$$\omega_{nmr} = \gamma \left[H_0 - (1 - \Delta_{nmr}) 4\pi M_0 \right]$$

де $\gamma = 2.8 \dot{A} \ddot{o} / \dot{y}$ – гіромагнітне відношення, H_0 – напруженість зовнішнього постійного магнітного поля, $4\pi M_0$ – намагніченість насичення, $0 < \Delta_{nmr} < 1/2$ – корінь характеристичного рівняння магнітостатичної задачі. Індеси n та m характеризують структуру коливань ($n - 1$ – число варіацій вздовж радіуса, m – число варіацій по азимуту), а індекс r – номер корня характеристичного рівняння ($r + 1$ – порядок корня). Тут враховано, що при намагнічуванні перпендикулярно до площини дискового резонатора так званий розмагнічуючий чинник, що визначає різницю між зовнішнім та внутрішнім магнітним полем резонатора, дорівнює одиниці.

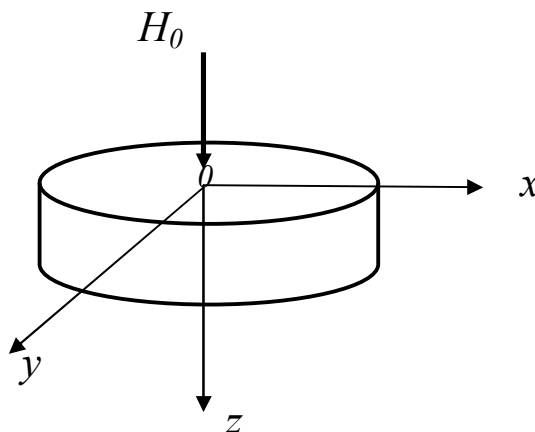


Рис. 2. Дисковий феритовий резонатор намагнічений полем H_0 вздовж осі z

Так як величини Δ_{nmr} не виходять за вказані вище межі, весь спектр магнітостатичних коливань дискового феритового резонатора розташований в інтервалі

$$\gamma (H_0 - 4\pi M_0) < \omega < \gamma \left(H_0 - \frac{4\pi M_0}{2} \right)$$

Таким чином, змінна намагніченість феритового резонатора може бути представлена у вигляді нескінченного ряду по власних видах магнітостатичних коливань резонатора. Збудження власних видів коливань може відбуватися по черзі при зміні ω або H_0 , причому збудження якого-небудь виду коливань відбувається при сприятливій для збудження цього виду конфігурації неоднорідного магнітного поля.

Конструкція дискового резонатора та експериментальні результати

Основним достоїнством дискового плівкового резонатора є планарність його конструкції, що добре сполучається із методами плівкової технології інтегральних пристроїв НВЧ. Проте, саме планарність дискових плівкових резонаторів вимагає проведення досліджень для реалізації їхнього практичного застосування.

Вимірювальний макет для дослідження властивостей і характеристик дискових плівкових резонаторів складається з високочастотної плати (рис. 3), і магнітної системи (МС, рис. 4)

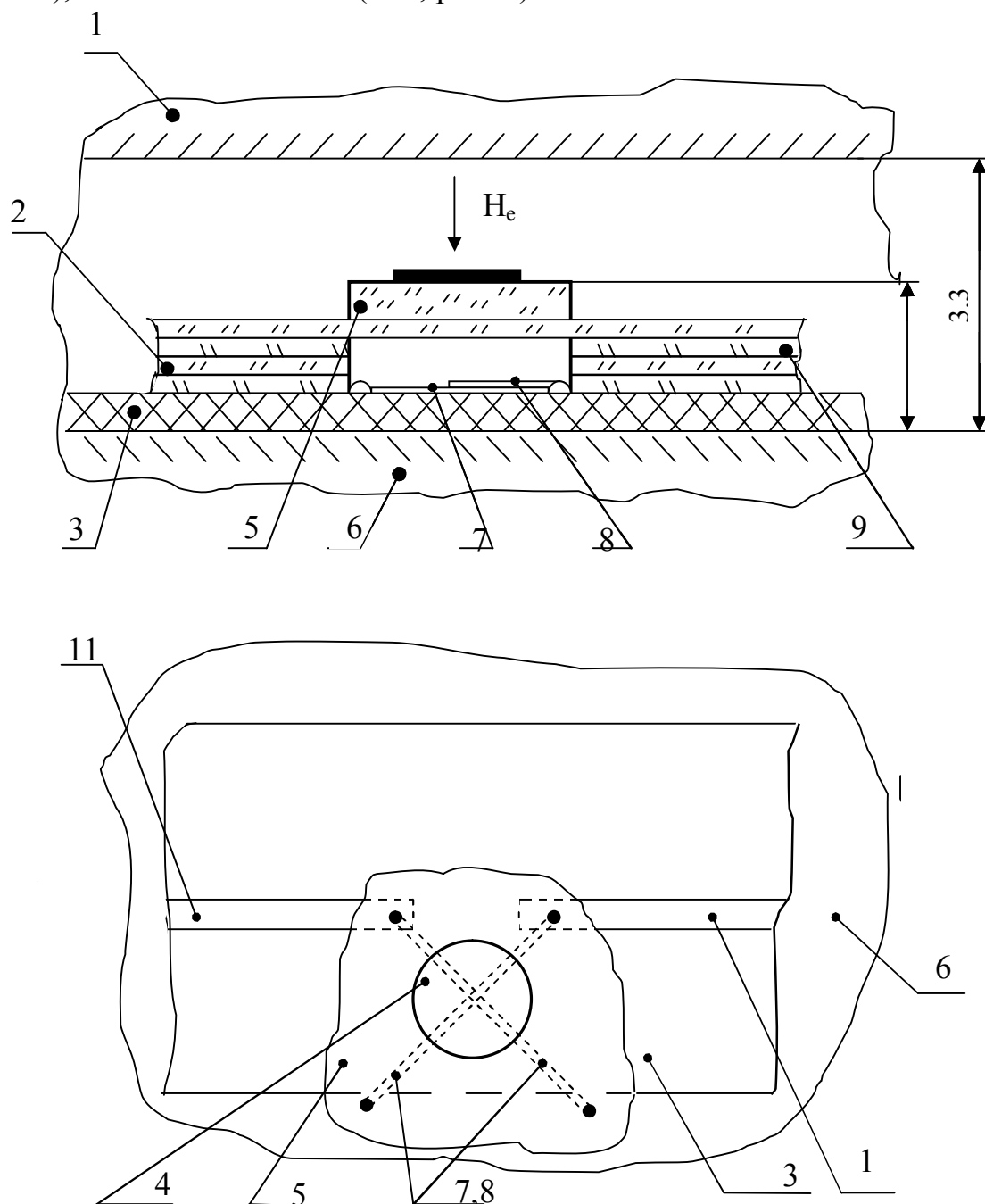


Рис. 3 Дисковий резонатор:

1 – наконечник полюсний, 2,9 – прокладки, 3 – плата полікорова, 4 – резонатор, 5 – підкладка резонатора, 6 – кришка магнітопроводу МС, 7,8 – перетворювачі з доту діаметром 0,14 мм, 10, 11 – мікροстрічкові лінії

Резонатор з підкладкою кріпиться до основи ВЧ плати й поміщається в зазор МС (рис. 4) так, що магнітне поле H_e виявляється перпендикулярним площині резонатора. Регулювання зв'язку резонатора із ВЧ лініями, що пі-

дводять та відводять сигнал, здійснюється за рахунок піднімання його над перетворювачами за допомогою прокладок. Для розв'язки вхідної й вихідної ліній при відсутності резонатора або підмагнічування перетворювачі, знаходячись в одній площині, між собою розташовані ортогонально (рис. 3).

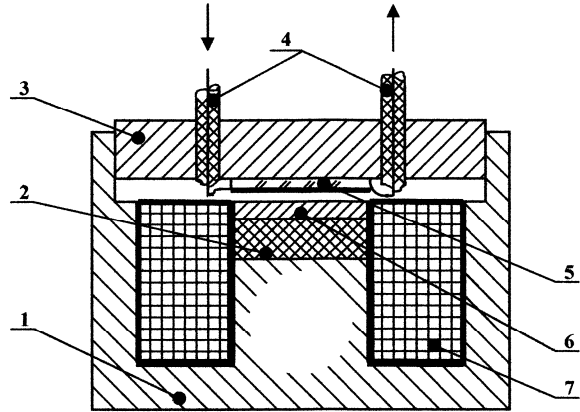


Рис. 4 Магнітна система з модулем НВЧ. 1 – магнітопровід, 2 – магніт, 3 – кришка, 4 – коаксіал вводу-виводу НВЧ сигналу, 5-модуль НВЧ із плівкою, 6 – наконечник полюсний, 7 –котушка електромагніта.

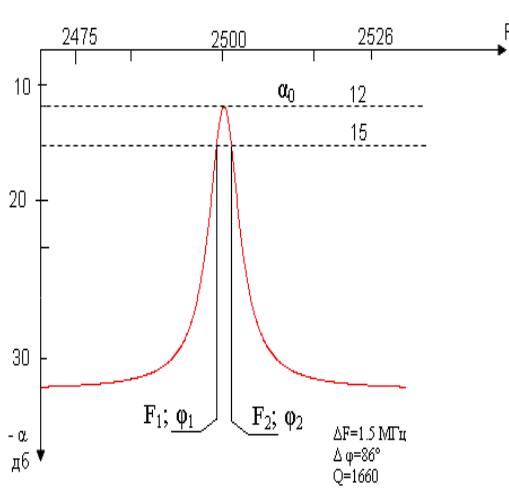


Рис. 5. Резонансна амплітудно-частотна характеристика дискового резонатора

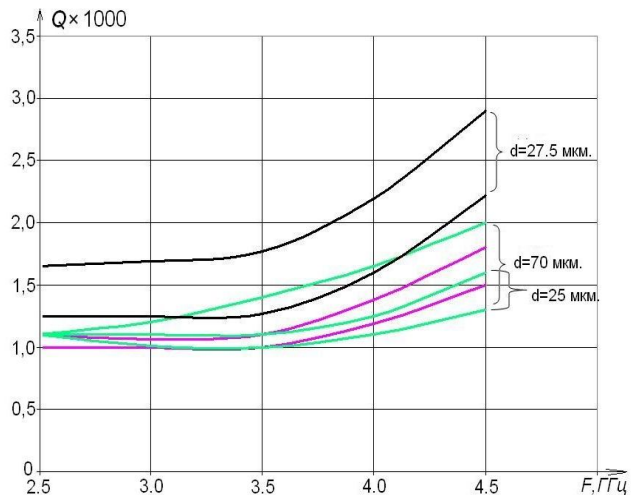


Рис. 6 Залежності добротності резонаторів від частоти

При вимірюваннях використана класична методика – метод вимірювання коефіцієнта передачі при слабкому зв'язку [5].

Добротність резонатора визначається по резонансній кривій (рис.5), спостережуваній на екрані вимірювального приладу Р4-38.

Результати вимірювання залежності власної добротності від частоти $Q_0 = \varphi(F)$ представлені у вигляді графіків (рис. 6). Дискові резонатори виготовлені методом травлення із епітаксiальної плівки залізо-ітрієвого граната із намагніченістю насичення $4\pi M_0 = 1750 \text{ ай}$. На графіку вказана товщина плівки, із якої виготовлена група резонаторів, власна добротність яких вимірювалась.

Нижня границя діапазону перестроювання визначається в основному якістю плівки й при параметрі дисипації $2\Delta H = 1,0 \dots 0,5 \text{ у}$, де $2\Delta H$ визна-

часться як ширина резонансної кривої резонатора по магнітному полю, при фіксованій частоті, становить $2,5 \pm 0,3$ ГГц

Неточності, що з'являються в процесі виготовлення резонатора, підвищують нижню границю частоти.

Висновки

При виконанні досліджень були визначені принципи побудови прохідного дискового резонатора на основі магнітостатичних коливань, виготовленого методом травлення із епітаксiальної плівки залізо-ітрієвого граната і намагніченого перпендикулярно до його площини. Технологія травлення з використанням відповідних шаблонів є груповою технологією, що вказує на її переваги перед технологією виготовлення сферичних феритових резонаторів. Проведені експериментальні дослідження показали, що при майже двократному перестроюванні резонансної частоти резонатори мають добротність не менше 1000 і вона зростає з частотою. В експериментах найвищою була добротність резонаторів, виготовлених із плівки товщиною 27,5 мкм, бо ця плівка мала найменший параметр дисипації.

Слід відмітити, що, окрім переваг в технології виготовлення, плівкові дискові резонатори мають конструктивні переваги, тому що їх конструкція є планарною, що дає можливість сполучати їх в єдиній планарній конструкції з НВЧ-підсилювачем для побудови за кільцевою схемою генератора НВЧ з електричним перестроюванням частоти.

Таким чином плівкові дискові резонатори на основі магнітостатичних коливань можна розглядати як перспективний вид частото задаючого елемента для генераторів НВЧ.

Література

1. E. Kudinov, M. Balinsky, Y. Sulema, "Designing of SHF Generators Based on Magnetostatic Waves in the Epitaxial Ferrite Films", Proceedings of the 7 International Conference CADSM'2003 "The Experience of Designing And Application of CAD Systems in Microelectronics". Slavske, Ukraine, 18-22 February, 2003.

2. Ishak W.S., Chang K.W. Tunable microwave resonators using magnetostatic waves in YIG film // IEEE Microwave Theory Tech. – 1986 – v. MTT-34, No 12, h. 1383 – 1393.

3. М.Г. Балинский, Е.В. Кудинов, С.Н. Куш, А.В. Старунский. Устройства на магнитостатических волнах и методы их расчета. Аналитический обзор // ЦНИИ "Румб", Ленинград, 1991, стр.67

4. М.Е. Ильченко, Е.В. Кудинов. Ферритовые и диэлектрические резонаторы СВЧ. // Издательство Киевского университета, 1973, стр. 175

5. Гинзтон Э.Л. Измерения на сантиметровых волнах. Пер. с англ. /Издательство ИЛ, М., 1960.

Кудинов Є.В. Плівкові дискові резонатори на основі магнітостатичних коливань для генераторів НВЧ. Визначений принцип побудови прохідних дискових резонаторів на основі магнітостатичних коливань, диски яких виготовлені методом травлення із

епітаксiальної плівки залізо-ітрієвого граната, і призначених для застосування в якості частотозадаючого елемента генератора НВЧ, побудованого по кільцевій схемі. Експериментальними дослідженнями встановлено, що, при майже двократному перестроюванні резонансної частоти, резонатори мають добротність не менше 1000 і вона зростає з частотою. Оскільки конструкція дискових плівкових резонаторів є планарною, це дає можливість сполучати їх в єдиній планарній конструкції з НВЧ-підсилювачем для побудови за кільцевою схемою генератора НВЧ з електричним перестроюванням частоти.

Ключові слова: генератори НВЧ, магнітостатичні коливання, епітаксiальної плівки ЗІГ, дискові резонатори.

Кудинов Є.В. Пленочные дисковые резонаторы на основе магнитостатических колебаний для генераторов СВЧ. Определен принцип построения проходных дисковых резонаторов на основе магнитостатических колебаний, диски которых изготовлены методом травления из эпитаксиальной пленки железо-иттриевого граната, и предназначены для применения в качестве частотозадающего элемента генератора СВЧ, построенного по кольцевой схеме. Экспериментальными исследованиями установлено, что, при почти двукратной перестройке резонансной частоты, резонаторы имеют добротность не менее 1000 и она растет с частотой. Поскольку конструкция дисковых пленочных резонаторов является планарной, это дает возможность сочетать их в единой планарной конструкции с СВЧ-усилителем для построения по кольцевой схеме генератора СВЧ с электрической перестройкой частоты.

Ключевые слова: генераторы СВЧ, магнитостатические колебания, эпитаксиальные пленки ЖИГ, дисковые резонаторы.

*E. Kudinov **Film disk resonators based on magnetostatic oscillations for microwave generators.** The guidelines for building walk-through disk resonators based on magnetostatic oscillations, discs which are made by etching of epitaxial yttrium iron garnet film, intended for use as the frequency-sets element of microwave oscillator, constructed by the ring scheme. Experimental studies have established that, at nearly twice the restructuring of the resonant frequency, resonators have Q-factor of at least 1000, and it increases with frequency. Since the construction of new disco film resonator is planar, it allows you to combine them into a single planar structure with a microwave amplifier for the construction of a ring oscillator circuit with an electrical microwave frequency tuning.*

Keywords: microwave generators, magnetostatic oscillations, epitaxial YIG film, disc resonators.