

ВЗАЄМОДІЯ ФЕРИТОВОГО РЕЗОНАТОРА ЗІ СМУЖКОВОЮ ЛІНІЄЮ ПЕРЕДАЧІ

The calculation theory of transmission line characteristics under the ferrite resonator interaction is considered. It is offered to use the approached magnetic field distribution. Calculations, modelling and experimental characteristics results are spent.

Вступ

Починаючи з 60-х років минулого сторіччя широкого застосування при розробці та виготовленні мікрохвильових радіотехнічних пристроїв набувають феритові матеріали. Це використання зумовлено певними явищами, що відбуваються в них і спричинені феромагнітним резонансом. У теперішній час розроблений ряд пристроїв на цих явищах, тому подальша робота проводиться в основному над покращенням технічних характеристик та зменшенням габаритних розмірів [1].

Теоретична частина

Розглянемо теорію аналізу систем із феритовим резонатором, що у подальшому може бути застосована для розрахунку смужкового феритового циркулятора зі зосередженими параметрами, який працює при феромагнітному резонансі. Суть цього методу полягає у тому, що феритовий зразок об'ємом V в лінії передачі вважається джерелом поля перевипромінювання, яке утворюється за допомогою збуджуючого поля падаючої хвилі. Таким чином, результуюче поле являє собою сукупність хвиль електричних та магнітних типів [2].

Оскільки розміри феритового зразка набагато менші довжини хвилі, а магнітна проникність при феромагнітному резонансі набагато більша діелектричної проникності, то поле буде збуджуватись змінною намагніченістю феритового елемента. При цьому коефіцієнти збудження визначаються за формулою:

$$C_{\mp n} = i2\pi \frac{V}{\lambda} \frac{\mu_0}{\epsilon_0} \frac{H_{\mp n} \bar{\chi} H}{N_n (1 + \beta)}$$

де μ_0 , ϵ_0 – магнітна та електрична сталі; λ – довжина хвилі; $\bar{\chi}$ – зовнішній тензор магнітної сприйнятливості; $H_{\mp n}$ – комплексна амплітуда вектору власного поля n -го типу; H – комплексна амплітуда вектору збуджуючого поля; N_n – норма n -ої хвилі, β – коефіцієнт втрат, який розраховується за формулою:

$$\beta = i\pi \frac{V}{\lambda} \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{H_{-n}^* \bar{\chi} H_{-n} + H_{+n}^* \bar{\chi} H_{+n}}{N_n}.$$

Зміна коефіцієнтів збудження при розстроюванні від резонансної частоти зумовлюється частотною залежністю зовнішнього тензора магнітної сприйнятливості [3].

Розрахунки, моделювання та експериментальні дослідження

Аналізуючи наведені вище формули, можна зробити висновок, що коефіцієнти збудження залежать від характеристик феромагнітного матеріалу та його геометрії, конструкції лінії передачі, частоти електромагнітної хвилі. Для розрахунку коефіцієнтів збудження також потрібно знати розподіл власних полів електромагнітної хвилі.

На рисунку 1 показано модель розраховуваної смужкової лінії передачі у розрізі. В центрі корпусу 1 над смужкою 5 розташований діелектричний ($\varepsilon \approx 1$) тримач 3 для феритової кульки 4. Також в середині корпусу розміщені металеві закоротки 2 з метою зсуву його власного об'ємного резонансу за межі досліджуваного діапазону частот.

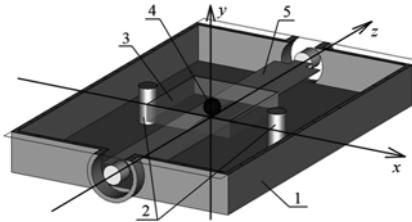


Рис. 1. Конструкція розраховуваної моделі

Оскільки аналітичне представлення полів смужкової лінії передачі досить складне, то зробимо деякі наближення для спрощення теоретичних розрахунків. Вибираючи напрямок координатних осей як показано на рисунку 1, опишемо розподіл магнітного поля T -хвилі за цими осями.

Вздовж осі z узгоджена на обох кінцях лінія передачі має рівномірний розподіл амплітуди магнітного поля, тобто: $h(z) = H_m$.

За напрямком осі x розподіл поля в межах смужки також рівномірний, а за її межами – поле експоненціально зменшується, оскільки в цьому напрямку відсутні умови існування електромагнітної хвилі. Запишемо розподіл поля в додатному напрямку за допомогою такої формули:

$$h(x) = H_m \left(\Phi(x) - \Phi\left(x - \frac{w}{2}\right) \right) + e^{-\frac{\left(x - \frac{w}{2}\right)}{b} \pi} \Phi\left(x - \frac{w}{2}\right).$$

Вздовж осі y розподіл магнітного поля рівномірний, але змінюється за знаком під та над смужкою. В додатному напрямку розподіл поля записується як:

$$h(y) = H_m \left(\Phi(y) - \Phi\left(y - \frac{b}{2}\right) \right).$$

Застосовуючи викладені формули були розраховані характеристики смужкової лінії передачі при розміщенні над смужкою в якості феритового резонатора феромагнітного монокристала у вигляді кульки, що має такі характеристики: діаметр $D = 2.39$ мм, намагніченість насичення $M_s = 139$ кА/м, ширина кривої феромагнітного резонансу $2\Delta H = 64$ А/м. Дана феритова кулька підмагнічується таким підстроюваним зовнішнім постійним магнітним полем, що феромагнітний резонанс може знаходитись в межах від 2 до 3 ГГц. Результати розрахунку коефіцієнтів відбиття S_{11} та передачі S_{21} показані на рисунку 2(а) у вигляді графіків залежності від частоти.

Крім того було проведено моделювання такої конструкції в пакеті програм електромагнітного моделювання високочастотних схем *Ansoft HFSS*, результати якого також представлені на рисунку 2(б).

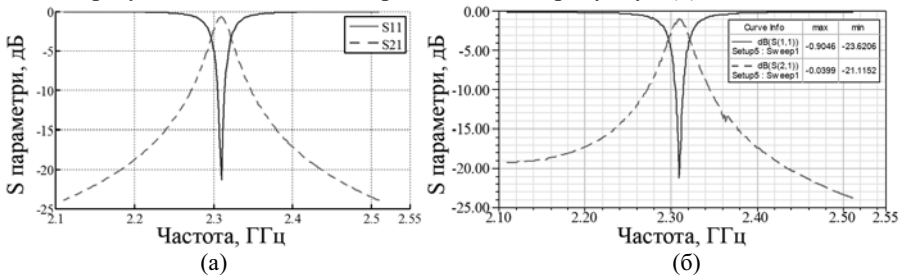


Рис. 2. Результати теоретичного розрахунку (а) та електродинамічного моделювання (б)

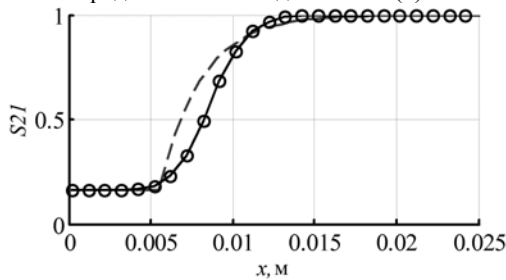


Рис. 3. Залежність коефіцієнта передачі смужкової лінії від розташування феритового резонатора за віссю x

Для оцінки зробленого наближення експоненціального розподілу магнітного поля за межами смужки також було виконано експериментальне дослідження зміни коефіцієнта передачі S_{21} смужкової лінії передачі при внесенні феритового резонатора. Дослідний макет являв собою конструкцію, аналогічну представлений на рисунку 1, за тією відмінністю, що феритова кулька в процесі вимірювань переміщалась вздовж осі x на тонкому

діелектричному стрижні з $\varepsilon \approx 1$ для зменшення його впливу на характеристики феритового резонатора. На рисунку 3 показані графіки залежностей теоретичного (пунктир) та вимірюваного (суцільна з точками) коефіцієнтів передачі, хід яких повторює експоненціальний закон розподілу магнітного поля за віссю x смужкової лінії, як було припущено вище.

Висновки

Феритовий елемент, внесений в лінію передачі, може бути представлений феритовим резонатором, що дає змогу застосовувати при розрахунку описаний теоретичний підхід.

При розрахунку коефіцієнтів збудження складні власні поля можуть бути описані за допомогою простих наближених формул, зберігаючи високу точність кінцевих результатів у найбільш важливих точках, наприклад, при феромагнітному резонансі.

Відмінність наближеного та реального розподілу магнітного поля зумовлюється наявністю в останньому вищих типів хвиль.

1. *Вунтесмері Вол. С., Стоколос М.О.* Широкопasmові невзаємні пасивні пристрої діапазону дуже високих частот // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2008. – Вип. 37. – С. 65-70.
2. *Баскаков С.И.* Сборник задач по курсу «Электродинамика и распространение радиоволн». – М.: Высш. школа, 1981. – 208 с.
3. *Бокринська О.Я., Вунтесмері В.С., Кисляковський А.В.* Феромагнітний резонанс у техніці сантиметрових хвиль. – Київ: Техніка, 1966. – 106 с.

Поступила 21.03.2011р.

УДК 543.51:549.282

П.И.Диденко, канд. физ.-мат. наук, Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, Киев

РОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ В ТОКСИЧНОСТИ КВАРЦЕВЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

The presence of surface layer in the varieties of quartz was discovered. The surface plays an important role in quartz toxicity. Presence of the surface layer or its absence on quartz enables to forecast the properties of quartz aerosols. A computer model is proposed to explain of quartz surface.

Введение. Исследование кварца приобретает актуальность в связи с тем, что кварцевые аэрозоли очень опасны [1]. До сих пор дискутируется не только механизм образования свободных радикалов этих аэрозолей, но даже сам тип этих радикалов остаётся не до конца установлен [2]. Воздействие