

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ МАГНІТНОЇ ПРОНИКНОСТІ МІКРОСТРІЧКОВОЇ ЛІНІЇ НА ФЕРИТОВІЙ ПІДКЛАДИНЦІ

*Вунтесмері В. С., к.т.н., доцент; Максимчук Т. М., магістрантка
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

Фазообертачі поділяють на дві великі групи — аналогові, які плавно змінюють фазу від 0 до 360° на виході, і дискретні, які змінюють фазу від 0 до 360° дискретно з заданим кроком [1]. Фаза на виході фазообертача залежить від значення магнітної проникності ферита. Для аналогових фазообертачів магнітну проникність фериту знаходять за відомими формулами [2] для залежності магнітної проникності від магнітного поля, отриманої для однодоменної структури намагніченого до насичення ферита. Для дискретних фазообертачів з пам'яттю магнітна проникність залежить від величини залишкової намагніченості ферита. В роботі [3] досліджувалась магнітна проникність не намагніченого ферита для хвилеводних фазообертачів.

Існують резонаторні, хвилеводні, гібридні, оптичні та інші методи дослідження магнітної проникності [4–8]. Як правило, вони дозволяють отримати результат на одній частоті. Перехід на іншу частоту потребує переналаштування вимірювального стенду. Нами проведено дослідження ефективної магнітної проникності мікροстрічкової лінії на феритовій немагнітній підкладці в широкій смузі частот за одну установку.

Довжина l відрізка мікροстрічкової лінії (МСЛ) кратна цілому числу напівхвиль $\lambda/2$:

$$l = \frac{n\lambda}{2}, \quad \text{де } n = 1, 2, \quad (1)$$
$$\lambda = v_{\phi}/f_{0n}$$

де v_{ϕ} — фазова швидкість хвилі, f_{0n} — резонансна частота.

Таким чином, відрізок довгої лінії як резонансна система має нескінченне число власних видів коливань різних частот, що відповідають різним значенням n . Кожне власне коливання збуджується відповідною резонансною частотою. Фазова швидкість електромагнітної хвилі в МСЛ:

$$v_{\phi} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_{\text{еф}}\mu_{\text{еф}}}}, \quad (2)$$

де c — швидкість світла, $\mu_{\text{еф}}$ — ефективна магнітна проникність, $\varepsilon_{\text{еф}}$ — ефективна діелектрична проникність.

Для вузької стрічки ($w/h < 1$) $\varepsilon_{\text{еф}}$ знаходять за формулою [9]:

$$\varepsilon_{\text{еф}} = \frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon} \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1} \frac{\ln(\pi/2) + \frac{\ln(4/\pi)}{\varepsilon}}{\ln(8h/w)} \right],$$

де w — ширина стрічки, h — висота підкладки.

Підставивши рівняння (2) в (1), отримаємо значення ефективної магнітної проникності:

$$\mu_{\text{эфп}} = \left(\frac{cn}{2lf_{0n}\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}} \right)^2 \quad (3)$$

Експериментально досліджувався мікροстрічковий резонатор на феритовій підкладці, який схематично зображений на рис. 1.

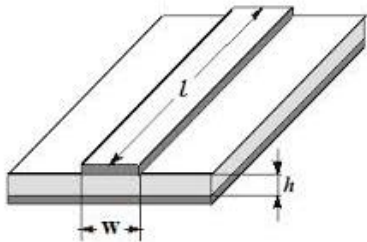


Рисунок 1.

Ширина стрічки $w = 0,6$ мм, довжина $l = 51$ мм, висота підкладки $h = 1$ мм, електрична проникність вибраного фериту із залізо-ітрієвого гранату $\epsilon = 14$.

Резонансні частоти спостерігались на екрані панорамних вимірювачів КСВН типів Р2-54, Я2Р-75 за стандартною методикою. Номер резонансу знаходили за допомогою зонду по числу стоячих напівхвиль вздовж мікροстрічкового ре-

зонатора: $f_3 = 4,876$ ГГц, $f_4 = 5,826$ ГГц, $f_5 = 7,046$ ГГц, $f_6 = 8,336$ ГГц, $f_7 = 9,17$ ГГц, $f_8 = 10,295$ ГГц, $f_9 = 11,411$ ГГц, $f_{10} = 12,378$ ГГц.

З формули (3) знаходимо залежність $\mu_{\text{эфп}}$ від частоти (рис.2):

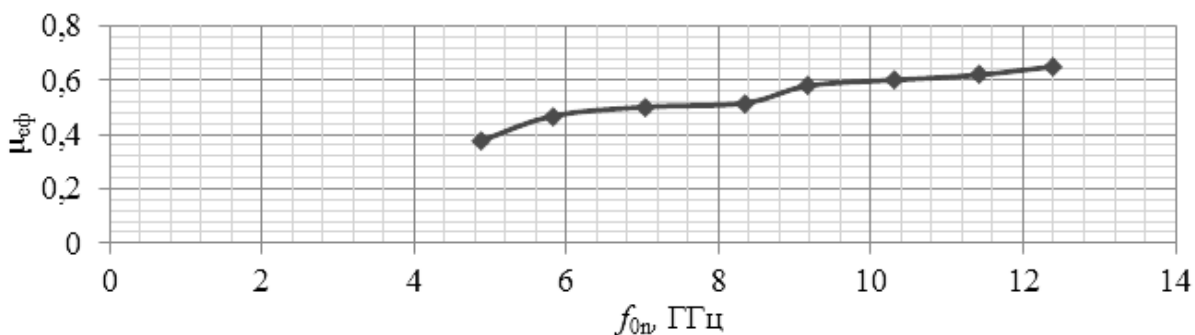


Рисунок 2

Висновок

За допомогою мікροстрічкового резонатора, довжиною l , можна вимірювати залежність дійсної частини ефективної магнітної проникності за одну установку в широкій смузі частот.

При зменшенні частоти $\mu_{\text{эф}}$ зменшується при наближенні до частоти природного ферромагнітного резонансу в не намагніченому фериті.

Література

1. Боголюбов В. Н. Управляемые ферритовые устройства СВЧ / В. Н. Боголюбов, А. В. Ескин, С. Б. Карбовский — М. : Советское радио. — 1972 — 72 с.
2. Лакс Б. Серхвысоочастотные ферриты и ферромагнетики / Б. Лакс, К. Баттон: пер. с англ., под ред. А. Г. Гуревича — М. : Мир. — 1965.

3. Покусин Д. Н., Залесский М. Ю. Тензор магнитной проницаемости феррита, находящегося в состоянии остаточного намагничивания / Д. Н. Покусин, М. Ю. Залесский // Труды конференций по электронной технике. Ферритовые СВЧ приборы и материалы — М. : Электроника. — 1970. — №.1(17) — С. 239—243.
4. Никольский В. В. Измерение параметров ферритов на сверхвысоких частотах / В. В. Никольский // Радиотехника и электроника. — 1956. — т.1, №4. — С. 447—468; — № 5. — С. 638—646.
5. Пильщиков А. П. О методе определения параметров ферромагнитного резонанса по экспериментальным данным / А. П. Пильщиков // «ЖЭТФ». — 1955. — т.29, вып.6. — С. 798.
6. Васильев З. Н. Новый метод измерения параметров намагниченных ферритов на сантиметровых волнах / З. Н. Васильев // Радиотехника и электроника — 1956. — т.1, № 11. — С. 1444—1460.
7. Максвелл С. П. Измерение свойств ферритовых материалов / С. П. Максвелл // Marconi Rev. — 1970. — v. 33, №176. — С. 2—20.
8. Хлыстов А. С. Об измерении 9-компонентного тензора магнитной проницаемости ферритов / А. С. Хлыстов, А. Н. Елсуков // Изв. ВУЗов. Физика — 1967. — № 8 — С. 40—46.
9. Малорацкий Л. Г. Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ / Л. Г. Малорацкий — М. : Сов. радио, 1976. — 216 с.

Анотація

Розглянуто експериментальний метод дослідження ефективної магнітної проникності. Представлені графіки залежності μ_{ef} від резонансної частоти. При зменшенні частоти ефективна магнітна проникність зменшується при наближенні до частоти природного ферромагнітного резонансу в не намагніченому фериті.

Аннотация

Рассматривается экспериментальный метод исследования эффективной магнитной проницаемости. Представлены графики зависимости μ_{ef} от резонансной частоты. При уменьшении частоты эффективная магнитная проницаемость уменьшается при приближении к частоте естественного ферромагнитного резонанса в не намагниченном феррите.

Abstract

The experimental method for studying the effective magnetic permeability. μ_{ef} are graphs of the resonance frequency. As the frequency decreases the effective permeability decreases when approaching the natural frequency of the ferromagnetic resonance in a magnetized ferrite not.

Ключові слова: мікрострічкова лінія передачі; ефективна магнітна проникність; ефективна діелектрична проникність; фазообертач.