

ЕКВІВАЛЕНТНІ ПАРАМЕТРИ ФЕРИТОВОГО СФЕРОІДА В ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ

У даній статті намагнічений феритовий зразок в лінії передачі розглядається як деяка система з еквівалентними параметрами, які визначаються величиною зв'язку феритового зразка з лінією передачі. Таке уявлення дає можливість просто пояснити розширення кривої резонансного поглинання при збільшенні зв'язку феритового зразка з лінією передачі і визначити параметри еквівалентного контура при розстроюванні [4]; останні можуть використовуватися для розрахунку пристроїв з феритовими зразками методами теорії кіл.

У розвиток методів аналізу, запропонованих у працях [1, 3], нам здається зручніше розглядати змінну намагніченість феритового зразка в лінії передачі як деяку еквівалентну коливальну систему [5]

$$Q_e = \frac{\omega W}{P_\phi + P_B} = \frac{Q_0}{1 + \frac{P_B}{P_\phi}} \quad (1)$$

Потужність, яку поглинає феритовий зразок, знаходять з виразу [6]

$$P_\phi = \frac{\omega}{2} \text{Im} (\vec{H}_n^* \chi \vec{H}_n) v, \quad (2)$$

де H_n — магнітна складова поля падаючої хвилі;
 χ — зовнішній тензор магнітної сприйнятливості;
 v — об'єм феритового зразка.

Потужність випромінювання знаходять за виразом

$$P_B = \frac{1}{2} \int_s [\vec{E}_B^+ \vec{H}_B^{+*}] \vec{l} ds + \frac{1}{2} \int_s [\vec{E}_B^- \vec{H}_B^{-*}] \vec{l} ds, \quad (3)$$

де \vec{E}_B^\pm , \vec{H}_B^\pm — поля, які збуджуються феритовим зразком в лінії передачі у позитивних і негативних напрямках осі поширення.

Потужність випромінювання залежить від зв'язку феритового зразка з лінією передачі і зростає із збільшенням останньої.

Таким чином, параметри коливальної системи залежать від ступеня зв'язку феритового зразка з лінією передачі. Тому, на нашу думку, доцільно ввести еквівалентні параметри намагніченого феритового зразка в лінії передачі.

Легко переконатися, що на основі рівняння (1) еквівалентну ширину резонансної кривої поглинання феритового зразка, вміщеного в будь-яку лінію передачі, можна записати у вигляді

$$2\Delta H_e = 2\Delta H \left(1 + \frac{P_B}{P_\Phi} \right), \quad (4)$$

а еквівалентну сприйнятливність — у вигляді

$$\chi_e = \frac{\chi}{1 + \frac{P_B}{P_\Phi}}. \quad (5)$$

Розглянемо нескінченний прямокутний хвилевід, що містить у собі феритовий сфероїд, розташований довільно у поперечному перерізі хвилеводу (рис. 1). Вважаємо, що лінійні розміри сфероїда набагато менші за довжину хвилі і він намагнічений до насичення однорідним полем \vec{H}_0 , прикладеним перпендикулярно до широкої стінки хвилеводу.

Якщо феритовий зразок являє собою еліпсоїд обертання, а постійне поле \vec{H}_0 направлене по його осі, то згідно з [1]

$$Q_0 = \frac{1}{2\alpha}, \quad (6)$$

де α — параметр, що характеризує магнітні втрати.

Підставляючи в рівняння (1), (4) і (5) значення P_Φ і P_B , обчислені для нескінченного прямокутного хвилеводу, одержимо еквівалентні параметри феритового сфероїда, довільно розташованого в нескінченному прямокутному хвилеводі.

Еквівалентна добротність дорівнює

$$Q_e = \frac{Q_0}{1 + V_p \left(\frac{2a}{\lambda_x} \sin^2 \pi \frac{x_0}{a} + \frac{\lambda_x}{2a} \cos^2 \pi \frac{x_0}{a} \right)}; \quad (7)$$

еквівалентна сприйнятливність —

$$\chi_e = \frac{\chi}{1 + V \left(\frac{2a}{\lambda_x} \sin^2 \pi \frac{x_0}{a} + \frac{\lambda_x}{2a} \cos^2 \pi \frac{x_0}{a} \right)}; \quad (8)$$

еквівалентна ширина резонансної кривої поглинання —

$$2\Delta H_e = 2\Delta H \left[1 + V_p \left(\frac{2a}{\lambda_x} \sin^2 \pi \frac{x_0}{a} + \frac{\lambda_x}{2a} \cos^2 \pi \frac{x_0}{a} \right) \right], \quad (9)$$

де $V = \frac{\pi v}{a^2 b}$ і χ — параметр зв'язку феритового сфероїда з хвилеводом;

a, b — поперечні розміри хвилеводу;

x_0 — відстань від вузької стінки до феритового сфероїда;

λ_x — довжина хвилі у хвилеводі;

V_p — параметр зв'язку при феромагнітному резонансі.

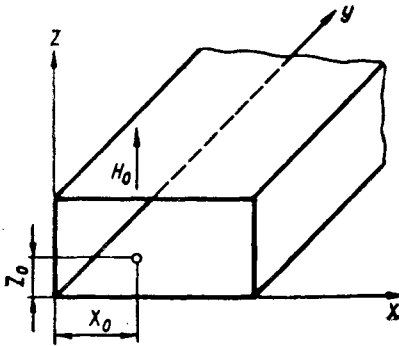


Рис. 1. Феритовий сфероїд у нескінченному хвилеводі.

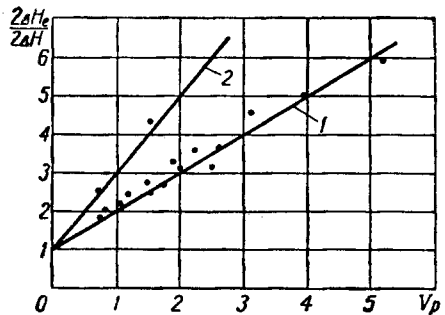


Рис. 2. Залежність $2\Delta H_e$ від параметра зв'язку V_p у нескінченній (крива 1) і закороченій (крива 2) лінійній передачі. Точками показано результати досліду.

На рис. 2 (крива 1) наведена залежність еквівалентної ширини кривої резонансного поглинання від параметра зв'язку V_p . Із збільшенням зв'язку феритового сфероїда з хвилеводом зростає потужність випромінювання (втрати на випромінювання). Внаслідок цього резонансна крива поглинання розширюється.

Із формули (9) видно, що еквівалентна ширина резонансної кривої поглинання не залежить від розташування феритового сфероїда в поперечному перерізі хвилеводу тільки на середній частоті ($\lambda_x = 2a$). На всіх інших частотах робочого діапазону хвилеводу спостерігається зміна $2\Delta H_e$ в залежності від розташування феритового сфероїда відносно вузьких стінок хвилеводу (рис. 3).

Підставляючи в рівняння (1), (4) і (5) значення P_ϕ і P_v , обчислені для закороченого хвилеводу, і пропустивши нескладні математичні перетворення, одержимо еквівалентні параметри феритового сфероїда, довільно розташованого в закороченому хвилеводі (рис. 4) на відстані y_0 від площини короткого замикання.

Еквівалентна добротність дорівнює

$$Q_e = \frac{Q_0}{1 + 2V_p \left(\frac{2a}{\lambda_x} \cos^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda_x} \sin^2 \pi \frac{x_0}{a} + \frac{\lambda_x}{2a} \sin^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda_x} \cos^2 \pi \frac{x_0}{a} \right)}, \quad (10)$$

еквівалентна сприйнятливість —

$$\chi_e = \frac{\chi}{1 + 2V \left(\frac{2a}{\lambda_x} \cos^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda_x} \sin^2 \pi \frac{x_0}{a} + \frac{\lambda_x}{2a} \sin^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda_x} \cos^2 \pi \frac{x_0}{a} \right)}; \quad (11)$$

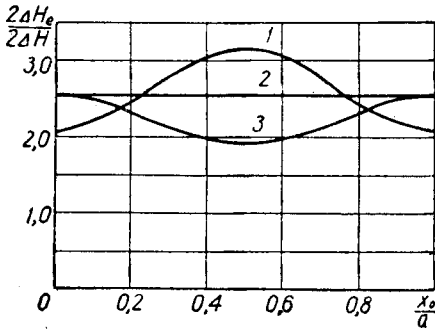


Рис. 3. Залежність $2\Delta H_e$ від розташування феритового сфероїда відносно вузьких стінок нескінченного хвильоводу:
 $V_p = 1.5$; 1—12,5 гц; 2—9,23 гц; 3—7,6 гц.

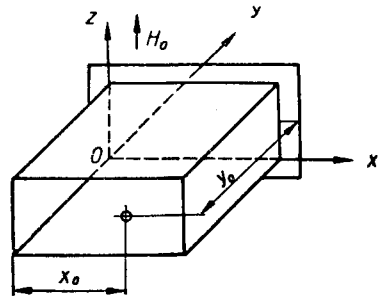


Рис. 4. Феритовий сфероїд у закороченому хвильоводі.

еквівалентна ширина резонансної кривої поглинання —

$$2\Delta H_e = 2\Delta H \left[1 + 2V_p \left(\frac{2a}{\lambda_x} \cos^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda_x} \sin^2 \pi \frac{x_0}{a} + \frac{\lambda_x}{2a} \sin^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda_x} \cos^2 \pi \frac{x_0}{a} \right) \right]. \quad (12)$$

Залежність $2\Delta H_e$ від параметра зв'язку V_p показана на рис. 2 (рис. 2).

На рис. 5 показані залежності $2\Delta H_e$ від місця розташування феритового сфероїда ($V_p = 1,58$) відносно вузьких стінок хвильоводу для різних відстаней y_0 від феритового сфероїда до площини короткого замикання.

Ширина кривої резонансного поглинання феритового сфероїда, розташованого в площині короткого замикання ($y_0 = n \frac{\lambda_x}{2}$), досягає максимуму при $x_0 = 0,5 a$, тому що магнітне поле в цій точці має тільки одну складову з пучністю в точці $x_0 = 0,5 a$. У перерізі, розташованому на відстані чверть довжини хвилі від площини ко-

роткого замикання ($y_0 = 1/4 \lambda_x$), існує поздовжня складова магнітного поля, яка змінюється в залежності від x_0 за косинусоїдним законом. У зв'язку з цим $2\Delta H_e$ матиме максимуми при розташуванні феритового сфероїда біля бічних стінок хвилеводу. В інших перерізах ($y_0 = \text{const}$) $2\Delta H_e$ матиме проміжний характер. У перерізі y_0 , знайденого з умови

$$\cos \frac{2\pi}{\lambda_x} y_0 = \frac{\lambda_x}{2a} \sin \frac{2\pi}{\lambda_x} y_0,$$

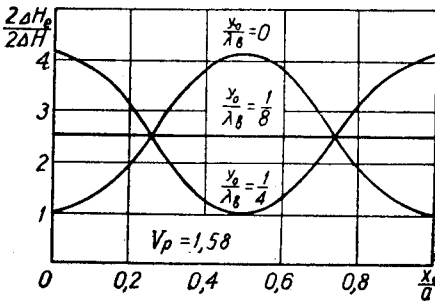


Рис. 5. Залежність $2\Delta H_e$ від розташування відносно вузьких стінок закороченого хвилеводу.

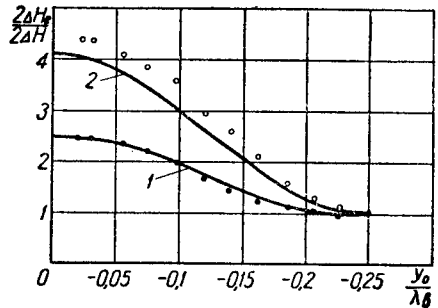


Рис. 6. Залежність $2\Delta H_e$ від відстані феритового сфероїда до площини короткого замикання.

$2\Delta H_e$, залишатиметься незмінною при всіх положеннях феритового сфероїда. Як видно із формули (12), $2\Delta H_e$ феритового сфероїда, розташованого по осі закороченого хвилеводу, є функцією відстані від площини короткого замикання до феритового сфероїда. Це добре підтверджується вимірюваннями, наведеними на рис. 6. Крива 1 відповідає феритовому сфероїду з $V_p = 0,8$, а крива 2 — $V_p = 1,58$.

Розглянемо далі коаксіальну лінію, яка містить у собі феритовий сфероїд, розташований у довільному місці поперечного перерізу (рис. 7).

Вважаємо, що лінійні розміри сфероїда набагато менші довжини хвилі і він намагнічений до насичення однорідним полем \vec{H}_0 , прикладеним перпендикулярно до вектора мікрохвильового магнітного поля в точці розміщення феритового сфероїда. Підставивши в рівняння (1), (4) і (5) значення P_ϕ і P_b , обчислені для нескінченної коаксіальної лінії, одержимо еквівалентні параметри феритового сфероїда, розташованого у нескінченній коаксіальній лінії.

Еквівалентна добротність дорівнює

$$Q_e = \frac{Q_0}{1 + V_p \frac{r_2}{\lambda} \left(\frac{r_2}{r_0} \right)^2}; \quad (13)$$

еквівалентна сприйнятливість —

$$\chi_e = \frac{\chi}{1 + V \frac{r_2}{\lambda} \left(\frac{r_2}{r_0} \right)^2}; \quad (14)$$

еквівалентна ширина резонансної кривої поглинання —

$$2\Delta H_e = 2\Delta H \left[1 + V_p \frac{r_2}{\lambda} \left(\frac{r_2}{r_0} \right)^2 \right], \quad (15)$$

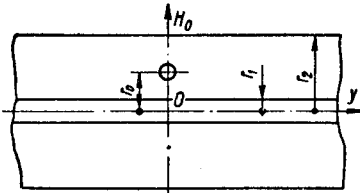


Рис. 7. Феритовий сфероїд у нескінченній коаксильній лінії.

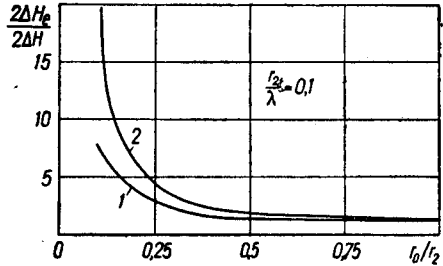


Рис. 8. Залежність $2\Delta H_e$ від розташування феритового сфероїда відносно центрального провідника коаксильної лінії.

де $V = \frac{2\sigma}{r_2^3 \ln \frac{r_2}{r_1}}$ і χ — параметр зв'язку феритового сфероїда з ко-

аксильною лінією;

r_1 і r_2 — відповідно зовнішній і внутрішній радіуси коаксильної лінії (рис. 7).

Знаходячи P_ϕ і P_v для закороченої коаксильної лінії і підставляючи їх значення в рівняння (1), (4) і (5), одержимо еквівалентні параметри феритового сфероїда, як завгодно розміщеного в закороченій коаксильній лінії на відстані y_0 від площини короткого замикання.

Еквівалентна добротність дорівнює

$$Q_e = \frac{Q_0}{1 + 2V_p \frac{r_2}{\lambda} \left(\frac{r_2}{r_0} \right)^2 \cos^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda}}; \quad (16)$$

еквівалентна сприйнятливість —

$$\chi_e = \frac{\chi}{1 + 2V \frac{r_2}{\lambda} \left(\frac{r_2}{r_0} \right)^2 \cos^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda}}; \quad (17)$$

еквівалентна ширина резонансної кривої поглинання —

$$2\Delta H_e = 2\Delta H \left[1 + 2V_p \frac{r_2}{\lambda} \left(\frac{r_2}{r_0} \right)^2 \cos^2 2\pi \frac{y_0}{\lambda} \right]. \quad (18)$$

На рис. 8 показана залежність $2\Delta H_e$ від розташування феритового сфероїда в поперечному перерізі коаксіальної лінії (при переміщенні по радіусу). Крива 1 відповідає розташуванню феритового сфероїда в нескінченній коаксіальній лінії, а крива 2 — у закороченій коаксіальній лінії на відстані $y_0 = n \frac{\lambda}{2}$ від площини короткого замикання, де $n = 0, 1, 2, 3, \dots$. Залежності $2\Delta H_e$ від параметра зв'язку V_p для нескінченної та закороченої коаксіальних ліній аналогічні відповідним залежностям для прямокутного хвилеводу, зображеним на рис. 2.

Еквівалентна ширина резонансної кривої поглинання в закороченій коаксіальній лінії є також функцією відстані y_0/λ від феритового сфероїда до площини короткого замикання.

Наведений у роботі метод еквівалентних параметрів може бути поширений на інші види ліній передачі, що містять феритовий сфероїд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич А. Г. Ферритовый эллипсоид в волноводе. — «Радиотехника и электроника», 1963, 8, 5.
2. Масленникова В. В. Ферритовая сфера в коаксиальном волноводе. — «Радиотехника и электроника», 1964, 9, 4.
3. Микаэлян А. Л., Коблова М. М. Передачи энергии в скрещенных волноводах при помощи намагниченного феррита. — «Радиотехника и электроника», 1962, 7, 10.
4. Кисляковский А. В., Вунтесмери В. С. Фазовые соотношения при взаимодействии ферритового сфероида с электромагнитным полем волновода. — Известия вузов СССР — Радиотехника, 1965, т. 8, 4.
5. Кисляковский А. В. Возбуждение волновода переменной намагниченностью ферритового сфероида. — Вестник КПИ, № 1, серия радиотехники, 1965.
6. Гуревич А. Г. Ферриты на СВЧ. Физматгиз, 1960.

А. В. КИСЛЯКОВСКИЙ, В. С. ВУНТЕСМЕРИ

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФЕРРИТОВОГО СФЕРОИДА В ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Краткое содержание

Рассматриваются эквивалентные параметры ферритового сфероида в линиях передачи. Вычислены эквивалентные параметры для прямоугольного волновода и коаксиальной линии. Обсуждается зависимость эквивалентной ширины кривой резонансного поглощения от степени связи ферритового сфероида с линией передачи. Учитывается основной тип волны и однородная прецессия намагниченности. Приводятся результаты экспериментальной проверки для волны в прямоугольном волноводе.

A. V. KISLACOVSKY, V. S. VUNTESMERI

THE EQUIVALENT PARAMETERS OF THE FERRITE SPHERE
IN THE TRANSMISSION LINE

S u m m a r y

Equivalent parameters of the ferrite sphere in the transmission line are examined. The equivalent parameters for the rectangular waveguide and coaxial supply line are calculated. The dependence of the equivalent width line of the resonance absorption on coupling factor of the ferrite sphere with transmission is discussed.

The dominant mode and the homogeneous precession is taken into consideration. The experimental results for the mode H_{10} are adduced.