

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗАЄМОДІЇ НАМАГНІЧЕНОГО ФЕРИТОВОГО ЕЛЕМЕНТА З ЛІНІЄЮ ПЕРЕДАЧІ НВЧ

Для аналізу взаємодії намагніченого в області феромагнітного резонансу феритового елемента з електромагнітними полями в лініях передачі НВЧ доцільно розглядати змінну намагніченість феритового елемента як коливальну систему, зв'язану з порожнинною коливальною системою — лінією передачі НВЧ. Такий підхід до намагніченого феритового елемента (НФЕ) був запропонований Бломбергенем та Паундом [1] і використовувався в ряді робіт, наприклад [2—6].

Розглянемо деяку узгоджену лінію передачі НВЧ з маленьким НФЕ, який у загальному випадку розміщений в еліптичній поляризації мікрохвильового магнітного поля. При цьому, як відомо, феритовий елемент перевипромінюватиме потужність, яка переноситься електромагнітним полем по лінії передачі як в напрямку до генератора P_n^- , так і в напрямку до навантаження P_n^+ (рис. 1)

Внаслідок цього добротність зв'язку коливальної системи можна записати у вигляді

$$Q_{зв} = \frac{1}{d_{зв}} = \frac{\omega W}{P_n^- + P_n^+} = \frac{1}{d_{зв1} + d_{зв2}}, \quad (1)$$

де

$$d_{зв1} = \frac{P_n^-}{\omega W}; \quad d_{зв2} = \frac{P_n^+}{\omega W}. \quad (2)$$

Загальне затухання зв'язаної системи дорівнює

$$d_n = d_0 + d_{зв1} + d_{зв2}, \quad (3)$$

де

$$d_0 = \frac{P_\phi}{\omega W}; \quad (4)$$

P_ϕ — потужність, яка поглинається феритом.

Визначимо коефіцієнт зв'язку намагніченого феритового елемента з лінією передачі НВЧ як відношення

$$K = \frac{Q_0}{Q_{зв}} = \frac{d_{зв}}{d_0} = \frac{P_n^- + P_n^+}{P_\phi} = K_1 + K_2, \quad (5)$$

де

$$K_1 = \frac{d_{зв1}}{d_0} = \frac{P_n^-}{P_\phi}; \quad K_2 = \frac{d_{зв2}}{d_0} = \frac{P_n^+}{P_\phi}. \quad (6)$$

Баланс потужностей в узгодженій лінії передачі НВЧ, що містить у собі перевипромінюючий феритовий елемент, можна записати у вигляді

$$P = P_{ГГ*} + P_{\kappa} + P_{ТТ*}, \quad (7)$$

де P — падаюча потужність;

$P_{ГГ*}$ — потужність, яка перевипромінюється в напрямку до генератора;

$P_{ТТ*}$ — потужність, яка проходить в напрямку до навантаження;

P_{κ} — потужність, яка поглинається феритовим елементом.

Коефіцієнт відбивання

$$\Gamma = \sqrt{\frac{P_{відб}}{P}} = D_-; \quad (8)$$

коефіцієнт проходження

$$T = \sqrt{\frac{P_{прох}}{P}} = 1 + D_+; \quad (9)$$

коефіцієнт поглинання

$$\kappa = \frac{P_\phi}{P}, \quad (10)$$

де D_- , D_+ — коефіцієнти перевипромінювання відповідно в напрямках до генератора і до навантаження.

Із співвідношення (7) при феромагнітному резонансі неважко знайти

$$D_{+p} = -\frac{2d_{зв2}}{d_n}; \quad (11)$$

$$D_{-p} = -\frac{2\sqrt{d_{зв1}d_{зв2}}}{d_n}; \quad (12)$$

$$\kappa_p = \frac{4d_0d_{зв2}}{d_n^2}. \quad (13)$$

Враховуючи рівняння (5), (6), (8 — 10), одержимо

$$T_p = 1 - \frac{2K_2}{1 + K} = \frac{1 + K_1 - K_2}{1 + K}; \quad (14)$$

$$\Gamma_p = -\frac{2\sqrt{K_1 K_2}}{1+K}; \quad (15)$$

$$\kappa_p = \frac{4K_2}{(1+K)^2}. \quad (16)$$

Розглянемо деякі окремі випадки формул (14) — (16) для намагніченого в режимі феромагнітного резонансу феритового елемента кулевидної форми.

1. Елемент розміщено в круговій поляризації мікрохвильового магнітного поля правого обертання. При цьому, як відомо [4],

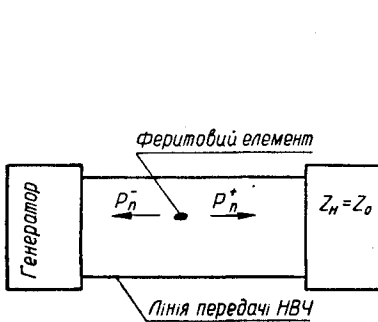


Рис. 1. Намагнічений феритовий елемент в узгодженій лінії передачі НВЧ.

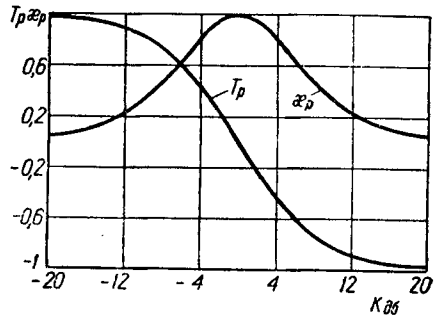


Рис. 2. Залежність характеристик взаємодії від величини коефіцієнта зв'язку (НФЕ знаходиться в узгодженій лінії передачі в круговій поляризації мікрохвильового поля правого обертання).

не буде відбивання потужності від елемента в напрямку до генератора, тобто $K_1 = 0$, $K = K_2$ і

$$T_p = \frac{1-K}{1+K}, \quad \Gamma_p = 0, \quad \kappa_p = \frac{4K}{(1+K)^2}. \quad (17)$$

Якщо $K = K_2 = 1$, то $T_p = 0$, $\kappa_p = 1$, тобто потужність, яка падає на феритовий елемент, повністю поглинається в ньому (ідеальний вентиль). Якщо $K = K_2 > 1$, то хвиля, яка проходить у напрямку до навантаження, матиме набіг фази 180° (гіратор). Коефіцієнт зв'язку, при якому відбувається вказана якісна зміна зв'язаної системи, можна назвати критичним, тобто $K_{кр} = 1 = 0$ дБ (рис. 2).

2. Елемент розміщено в лінійній поляризації мікрохвильового магнітного поля. При цьому $K_1 = K_2 = \frac{K}{2}$ система взаємна і

$$T_p = \frac{1}{1+K}, \quad \Gamma_p = -\frac{K}{1+K}, \quad \kappa_p = \frac{2K}{(1+K)^2}. \quad (18)$$

При зв'язку, який дорівнює критичній величині $K = K_{кр} = 1$,
 $K_1 = K_2 = 0.5$ і $T_p = 0.5$, $\Gamma_p = 0.5$, $\kappa_p = 0.5$ (рис. 3).

Розглянемо тепер короткозамкнуту лінію передачі НВЧ, в якій НФЕ розміщено на деякій відстані від площини короткого зами-

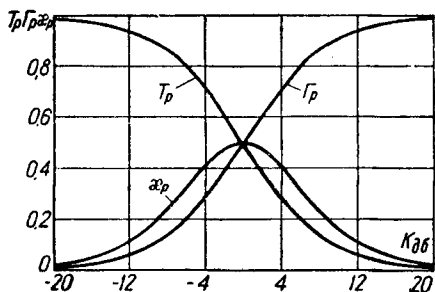


Рис. 3. Залежність характеристик взаємодії від величини коефіцієнта зв'язку (НФЕ знаходиться в узгодженій лінії передачі в лінійній поляризації мікрохвильового магнітного поля).

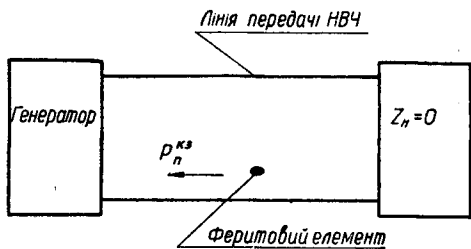


Рис. 4. Намагнічений феритовий елемент у короткозамкнутій лінії передачі НВЧ.

кання (рис. 4). Визначимо коефіцієнт зв'язку феритового елемента з короткозамкнутою лінією передачі НВЧ як відношення

$$K^{кз} = \frac{Q_0^{кз}}{Q_{зв}^{кз}} = \frac{d_{зв}^{кз}}{d_0} = \frac{P_{п}^{кз}}{P_{ф}^{кз}}, \quad (19)$$

де

$$Q_0^{кз} = \frac{\omega W}{P_{п}^{кз}}; \quad Q_{зв}^{кз} = \frac{\omega W}{P_{ф}^{кз}}; \quad (20)$$

$P_{п}^{кз}$ — потужність, яка переноситься перевипромінюваним полем по лінії передачі.

Загальне затухання даної зв'язаної системи дорівнює

$$d_n^{кз} = d_0^{кз} + d_{зв}^{кз}. \quad (21)$$

Баланс потужностей в короткозамкнутій лінії передачі НВЧ, яка містить в собі перевипромінюючий феритовий елемент, можна записати у вигляді

$$P = P(\Gamma\Gamma^*)^{кз} + P_{\kappa}^{кз}. \quad (22)$$

Тут P ($\Gamma\Gamma^*$)^{кз} — потужність, яка відбивається в напрямку до генератора;

$P_{\kappa^{\text{кз}}}$ — потужність, яка поглинається феритовим елементом, причому коефіцієнт відбивання

$$\Gamma^{\text{кз}} = \sqrt{\frac{P_{\text{відб}}}{P}} = 1 + D^{\text{кз}}; \quad (23)$$

коефіцієнт поглинання

$$\kappa^{\text{кз}} = \frac{P_{\Phi}^{\text{кз}}}{P}, \quad (24)$$

де $D^{\text{кз}}$ — коефіцієнт перевипромінювання.

Із співвідношення (22) при феромагнітному резонансі неважко знайти спочатку

$$D_{\text{р}}^{\text{кз}} = -\frac{2d_{\text{зв}}^{\text{кз}}}{d_{\text{н}}^{\text{кз}}}; \quad (25)$$

$$\kappa_{\text{р}}^{\text{кз}} = \frac{4d_0^{\text{кз}} d_{\text{зв}}^{\text{кз}}}{(d_{\text{н}}^{\text{кз}})^2}, \quad (26)$$

а потім, враховуючи (19) — (21), (23) — (24), і

$$\Gamma_{\text{р}}^{\text{кз}} = 1 - \frac{2K^{\text{кз}}}{1 + K^{\text{кз}}} = \frac{1 - K^{\text{кз}}}{1 + K^{\text{кз}}}, \quad (27)$$

$$\kappa_{\text{р}}^{\text{кз}} = \frac{4K^{\text{кз}}}{(1 + K^{\text{кз}})^2}. \quad (28)$$

Залежність коефіцієнтів поглинання і відбивання від величини коефіцієнта зв'язку НФЕ з короткозамкнутою лінією передачі НВЧ, як видно, аналогічна залежності відповідно коефіцієнтів поглинання і проходження від величини коефіцієнта зв'язку НФЕ з узгодженою лінією передачі при розміщенні елемента в круговій поляризації мікрохвильового магнітного поля правого обертання.

На закінчення відзначимо, що одержані вище вирази для характеристик взаємодії дійсні, якщо при розміщенні НФЕ в лінії передачі не спостерігаються поляризаційні явища.

ЛІТЕРАТУРА

1. В l o e m b e r g e n N. and P o u n d R. Radiation Damping in Magnetic Resonance Experiments.— Phys. Rev., v. 95, 1, July 1954, p. 8.
2. Г у р е в и ч А. Г. Ферритовый эллипсоид в волноводе.— «Радиотехника и электроника», 8, № 5, 1963.
3. К и с л я к о в с к и й А. В. Возбуждение волновода переменной намагниченностью ферритового сфероида.— Вестник КПИ, № 2, серия радиотехники, Изд-во КГУ, 1965.

4. Сюй Янь-шен. Дифракция электромагнитных волн на гиротропной сфере внутри прямоугольного волновода.— «Радиотехника и электроника», 5, № 1, 1960.

5. Skeie H. Nonreciprocal Coupling with Single Crystal Ferrites.— IEEE Trans. MTT, v. MTT-12, No 6, p. 587—594, 1964.

6. De Grasse R. Low-Loss Gyromagnetic Coupling through Single Crystal Garnets.— J. Appl. Phys., Suppl. to v. 30, No. 4, April, 1959.

М. Е. ИЛЬЧЕНКО, Е. В. КУДИНОВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАМАГНИЧЕННОГО ФЕРРИТОВОГО ЭЛЕМЕНТА С ЛИНИЕЙ ПЕРЕДАЧИ СВЧ

Краткое содержание

Известно, что миниатюрные ферритовые элементы, в которых возбуждена однородная прецессия намагниченности, ведут себя на СВЧ как резонаторы с сосредоточенными постоянными. С помощью уравнений баланса мощностей в согласованной и короткозамкнутой линиях передачи, содержащих такой ферритовый резонатор, в данной работе получены выражения для характеристик взаимодействия указанных связанных систем. Эти выражения даны в общем виде и записаны через коэффициенты связи намагниченного ферритового элемента с линией передачи СВЧ.

М. Е. ILTCHENKO, E. V. KUDINOV

THE INTERACTION CHARACTERISTICS OF FERRITE RESONATOR WITH UHF TRANSMISSION LINE

Summary

The coupling coefficients of ferrite resonator with UHF transmission line is obtained. Expressions for interaction characteristics of coupling system are found using the energy balance equation for transmission line. These expressions are given in a general sense and expressed by the coupling coefficients.