

М. Ю. ІЛЬЧЕНКО, Є. В. КУДІНОВ

ПРО ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗАЄМОДІЇ ФЕРИТОВОГО РЕЗОНАТОРА З ЛІНІЄЮ ПЕРЕДАЧІ НВЧ

У роботі [1] досліджені характеристики взаємодії феритового резонатора з узгодженою та короткозамкненою лініями передачі при резонансі. Нижче наведені наслідки аналізу взаємодії феритового резонатора з лініями передачі НВЧ як при резонансі, так і при розстройці поблизу резонансу. Показано, що в деяких випадках загальні формули для характеристик взаємодії феритового резонатора з лінією передачі збігаються з відповідними формулами, відомими з теорії об'ємних резонаторів.

Розглянемо феритовий резонатор, зв'язаний з короткозамкненою лінією передачі. Еквівалентна схема цієї системи наведена на рис. 1. Показано феритовий резонатор для основного типу коливачів з еквівалентним LCR -контуром. Ця схема аналогічна еквівалентній схемі ввімкнення об'ємного резонатора як кінцевого навантаження лінії передачі [2], тому і наслідки їх розв'язання аналогічні.

Якщо позначити коефіцієнт зв'язку резонатора з короткозамкненою лінією передачі через

$$K = \frac{(\omega M)^2}{RZ_0}, \quad (1)$$

а узагальнену розстройку резонатора з високою добротністю через

$$\xi = 2Q_0 \frac{\omega - \omega_p}{\omega_p}, \quad (2)$$

одержимо вирази для характеристик взаємодії.

Коефіцієнт відбивання має вигляд

$$\dot{\Gamma} = \frac{1 - K + j\xi}{1 + K + j\xi} e^{j(\varphi_{\Gamma} - \varphi_0)}, \quad (3)$$

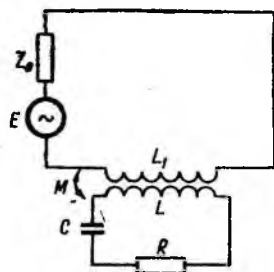


Рис. 1. Еквівалентна схема ввімкнення феритового резонатора як неоднорідності в короткозамкненій лінії передачі.

звідки модуль коефіцієнта відбивання

$$|\dot{\Gamma}| = \frac{\sqrt{(1-K^2+\xi^2)^2 + (2K\xi)^2}}{(1+K)^2 + \xi^2}; \quad (4)$$

фазовий кут коефіцієнта відбивання на відстані z_n від положення пучності при розстройці

$$\Phi_{\Gamma} = \Phi_0 - 2\beta z_n, \quad (5)$$

де

$$\Phi_0 = \arctg \frac{2K\xi}{1-K^2+\xi^2}. \quad (6)$$

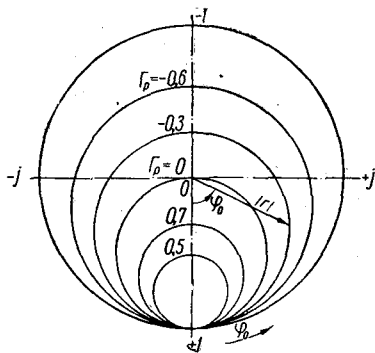


Рис. 2. Годографи коефіцієнта відбивання при різних Γ_p .

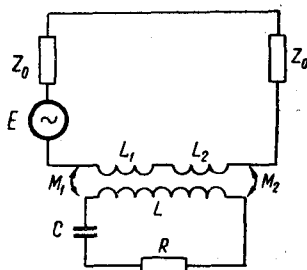


Рис. 3. Еквівалентна схема ввімкнення феритового резонатора як неоднорідності в узгодженій лінії передачі.

Вираз для годографа коефіцієнта відбивання (при $z_n = 0$)

$$(\text{Re } \dot{\Gamma})^2 + (\text{Im } \dot{\Gamma})^2 - (1 + \Gamma_p) \text{Re } \dot{\Gamma} + \Gamma_p = 0 \quad (7)$$

являє собою рівняння кола, центр якого зміщений по дійсній осі на відстань

$$x_0 = \frac{1 + \Gamma_p}{2} = \frac{1}{1 + K}, \quad (8)$$

а радіус дорівнює

$$R_0 = \frac{1 - \Gamma_p}{2} = \frac{K}{1 + K}. \quad (9)$$

Годографи коефіцієнтів відбивання при резонансі наведені на рис. 2.

Коефіцієнт поглинання визначається із співвідношення

$$\kappa = 1 - |\dot{\Gamma}|^2 \quad (10)$$

і дорівнює

$$\kappa = \frac{4K}{(1+K)^2 + \xi^2}. \quad (11)$$

При резонансі ($\xi = 0$) вирази (4) і (11) переходять у відповідні вирази, одержані в роботі [1]. Зауважимо, що останні дійсні не

лише в точці резонансу, але й при розстройці поблизу резонансу, якщо в них замінити коефіцієнт перевипромінювання при резонансі на комплексний коефіцієнт перевипромінювання згідно з виразом

$$\dot{D} = \frac{D_p}{1 + j\xi \frac{1}{1+K}} \quad (12)$$

Наведемо результати аналізу взаємодії феритового резонатора з узгодженою лінією передачі (рис. 3).

У загальному випадку зв'язку були одержані вирази для характеристик взаємодії.

Коефіцієнт відбивання дорівнює

$$\dot{\Gamma} = - \frac{2\sqrt{K_1 K_2}}{1 + K_1 + K_2 + j\xi} e^{j(\varphi_\Gamma - \varphi_0)}, \quad (13)$$

звідки

$$|\dot{\Gamma}| = 2 \sqrt{\frac{K_1 K_2}{(1 + K_1 + K_2)^2 + \xi^2}}; \quad (14)$$

$$\varphi_\Gamma = \varphi_0 - 2\beta z; \quad (15)$$

$$\varphi_0 = - \operatorname{arctg} \frac{\xi}{1 + K_1 + K_2}, \quad (16)$$

де K_1, K_2 — коефіцієнти зв'язку феритового резонатора з узгодженою лінією передачі

$$K_1 = \frac{(\omega M_1)^2}{RZ_0}, \quad K_2 = \frac{(\omega M_2)^2}{RZ_0}; \quad (17)$$

z — відстань від феритового резонатора до розглядуваного розрізу лінії передачі в напрямку до генератора.

Вираз для годографа коефіцієнта відбивання (при $z = 0$)

$$(\operatorname{Re} \dot{\Gamma})^2 + (\operatorname{Im} \dot{\Gamma})^2 - \Gamma_p \operatorname{Re} \dot{\Gamma} = 0 \quad (18)$$

являє собою рівняння кола, центр якого зміщений по дійсній осі на відстань

$$x_0 = \frac{\Gamma_p}{2} = - \frac{\sqrt{K_1 K_2}}{1 + K_1 + K_2} \quad (19)$$

і радіус якого дорівнює

$$R_0 = \left| \frac{\Gamma_p}{2} \right| = \left| \frac{\sqrt{K_1 K_2}}{1 + K_1 + K_2} \right|. \quad (20)$$

Годографи коефіцієнтів відбивання при резонансі наведені на рис. 4.

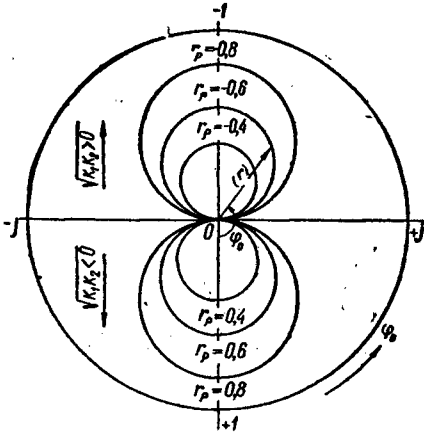
Зміщення центра кола вгору або вниз по дійсній осі залежить від знака члена $\sqrt{K_1 K_2}$; останній залежить від конкретної лінії передачі, розміщення феритового резонатора в площині її поперечного перерізу і визначається при обчисленні коефіцієнтів зв'язку.

Коефіцієнт проходження дорівнює

де
$$\dot{T} = \frac{1 + K_1 - K_2 + j\xi}{1 + K_1 + K_2 + j\xi} = |\dot{T}| e^{j\varphi_T}, \quad (21)$$

$$|\dot{T}| = \frac{\sqrt{[(1 + K_1)^2 - K_2^2 + \xi^2]^2 + (2K_2\xi)^2}}{(1 + K_1 + K_2)^2 + \xi^2}; \quad (22)$$

$$\varphi_T = \arctg \frac{2K_2\xi}{(1 + K_1)^2 - K_2^2 + \xi^2}. \quad (23)$$



Вираз для годографа коефіцієнта проходження

$$(\text{Re } \dot{T})^2 + (\text{Im } \dot{T})^2 - (1 + T_p) \text{Re } \dot{T} + T_p = 0, \quad (24)$$

являє собою рівняння кола, центр якого зміщений по дійсній осі на відстань

Рис. 4. Годографи коефіцієнта відбивання при різних Q_p .

$$x_0 = \frac{1 + T_p}{2} = \frac{1 + K_1}{1 + K_1 + K_2} \quad (25)$$

і радіус якого дорівнює

$$R_0 = \frac{1 - T_p}{2} = \frac{K_2}{1 + K_1 + K_2}. \quad (26)$$

Використовуючи вирази (13), (21) для коефіцієнтів відбивання і проходження, запишемо хвильові матриці узгодженого відвізка лінії передачі, що містить у собі феритовий резонатор.

Матриця розсіяння

$$[S] = \begin{bmatrix} -\frac{2\sqrt{K_1K_2}}{1 + K_1 + K_2 + j\xi} & \frac{1 + K_2 - K_1 + j\xi}{1 + K_1 + K_2 + j\xi} \\ \frac{1 + K_1 - K_2 + j\xi}{1 + K_1 + K_2 + j\xi} & -\frac{2\sqrt{K_1K_2}}{1 + K_1 + K_2 + j\xi} \end{bmatrix} \quad (27)$$

матриця передачі

$$[T] = \begin{bmatrix} \frac{1 + K_1 + K_2 + j\xi}{1 + K_1 - K_2 + j\xi} & \frac{2\sqrt{K_1K_2}}{1 + K_1 - K_2 + j\xi} \\ -\frac{2\sqrt{K_1K_2}}{1 + K_1 - K_2 + j\xi} & \frac{(1 - K_1 + K_2 + j\xi)(1 + K_1 - K_2 + j\xi) - 4K_1K_2}{(1 + K_1 + j\xi)^2 - K_2^2} \end{bmatrix} \quad (28)$$

В окремому випадку зв'язку $K_1 = 0$, $K_2 = K$ (коли феритовий резонатор розміщений в круговій поляризації мікрохвильового магнітного поля правого обертання) хвильові матриці мають вигляд:

матриця розсіяння

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{1-K+j\epsilon}{1+K+j\epsilon} & 0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

матриця передачі

$$[T] = \begin{bmatrix} \frac{1+K+j\epsilon}{1-K+j\epsilon} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

В окремому випадку зв'язку $K_1 = K_2 = 0,5K$ (коли феритовий резонатор розміщений у лінійній поляризації мікрохвильового магнітного поля) хвильові матриці мають вигляд:

матриця розсіяння

$$[S] = \begin{bmatrix} -\frac{K}{1+K+j\epsilon} & \frac{1+j\epsilon}{1+K+j\epsilon} \\ \frac{1+j\epsilon}{1+K+j\epsilon} & -\frac{K}{1+K+j\epsilon} \end{bmatrix} \quad (31)$$

матриця передачі

$$[T] = \begin{bmatrix} \frac{1+K+j\epsilon}{1+j\epsilon} & \frac{K}{1+j\epsilon} \\ -\frac{K}{1+j\epsilon} & \frac{1-K+j\epsilon}{1+j\epsilon} \end{bmatrix} \quad (32)$$

Останній окремий випадок зв'язку феритового резонатора з узгодженою лінією передачі аналогічний випадку ввімкнення об'ємного резонатора як неоднорідності в узгоджену лінію передачі НВЧ [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Ільченко М. Ю., Кудінов Є. В., Характеристики взаємодії намагніченого феритового елемента з лінією передачі НВЧ, Вісник КПІ, № 3, серія радіотехніки, Вид-во КДУ, 1966.
2. Гинзтон Э. Л., Измерения на сантиметровых волнах, М., ИЛ, 1960.
3. Тишер Ф., Техника измерений на сверхвысоких частотах, М., Физматгиз, 1963.

M. E. ILTCHENKO, E. V. KUDINOV

TO THE QUESTION OF COUPLING OF THE FERRITE RESONATOR
WITH THE SHF-TRANSMISSION LINE

S u m m a r y

The results of analysis of the ferrite resonator interaction with the short-circuited and loaded SHF-transmission lines both at the resonance and near resonance are discussed. The wave matrixes of the loaded piece of the transmission line with the ferrite resonator are given.