

В. В. ГУЩИН, В. А. ГОРДЕЕВ

## ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В СПИРАЛЬНОЙ ЛИНИИ С ФЕРРИТОВЫМИ КОЛЬЦАМИ

Создание невзаимных ферритовых устройств без магнитной системы является весьма перспективной задачей. Такое устройство может быть реализовано на спиральной линии с азимутально намагниченным ферритом [1]. При этом получено достаточно высокое (20:1) вентиляльное отношение в широкой полосе частот. Отсутствие магнитной системы в вентиле позволяет значительно сократить его вес и габариты. Исключается влияние сторонних магнитных полей на электронные приборы при установке вентилей в сложный радиотехнический комплекс.

Это устройство особенно удобно для ЛБВ и ЛОВ. Особенности работы последних, а также технологический процесс требуют изготовления ферритов в форме отдельных колец. Феррит должен обладать достаточно высоким (порядка 0,9) коэффициентом прямоугольности  $K_{\text{п}}$ . Намагниченное по азимуту такое ферритовое кольцо обладает очень малыми полями рассеяния.

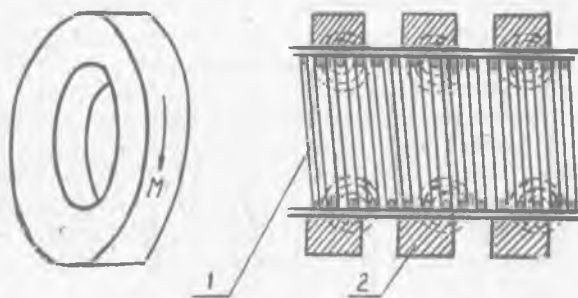


Рис. 1.

Ферромагнитный резонанс в спиральной линии с азимутально намагниченными кольцами (рис. 1а) может быть рассмотрен как вопрос о распространении плоских волн с эллиптической поляри-

зацией в продольно намагниченной гиротропной среде. Коэффициент эллиптичности (обычно он близок к 1) зависит от параметров замедляющей системы (ЗС) и диапазона частот.

Как показано на рис. 1 б, высокочастотное магнитное поле, создаваемое спиральной линией 1, поляризовано по кругу в плоскости, проходящей через ось спирали. Поскольку направление намагничивания феррита 2 перпендикулярно этой плоскости, условия возникновения невязимного затухания выполняются на частоте  $\omega$  сигнала, равной частоте продольного ферромагнитного резонанса  $\omega_{\text{рез}}$  намагниченного феррита.

Изменение всех параметров правой волны носит резонансный характер, левой — не является резонансным. Таким образом, для заданного направления намагничивания имеем два противоположных направления распространения, соответствующие большому и малому затуханиям. Используя феррит с ППГ, можем считать, что намагниченное кольцо находится в состоянии, близком к насыщению.

Установлено [2], что спектр собственных частот прецессии малого эллипсоида лежит в интервале

$$\gamma H_i < \omega < \gamma (H_i + 2\pi M_s), \quad (1)$$

где  $H_i$  — внутреннее магнитное поле,  $M_s$  — намагниченность насыщения,  $\gamma$  — гиромагнитное отношение.

Полоса частот постоянна и равна

$$\Delta\omega = \gamma \cdot 2\pi M_s. \quad (2)$$

Выражение (1) справедливо и для ферритового кольца, если предположить, что толщина и высота его малы по сравнению с длиной окружности.

Для получения достаточно большого вентиляющего отношения частота однородной прецессии  $\omega_0$  должна находиться за спектром спиновых волн. В поликристаллических ферритах области неоднородного эффективного поля по своим размерам порядка размеров кристалликов. Тот же порядок величины имеют и длины волн возбуждаемых на них неоднородных типов прецессии. Так как эти величины значительно меньше размеров образца, то можно предположить, что возбуждаемые типы прецессии представляют собой плоские спиновые волны. С другой стороны, эти размеры значительно больше, чем величины порядка  $10^{-6}$  —  $10^{-5}$  см, при которых становится существенным обменное взаимодействие. Поэтому в формуле дисперсии спиновых волн

$$\omega_k = \gamma [(H_i + qk^2 M_s) (H_i + qk^2 M_s + 4\pi M_s \sin^2 \Theta_k)]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

(где  $\Theta$  — угол между намагниченностью и направлением распространения электромагнитных волн) можно пренебречь обменным членом  $qK^2 M_s$ .

Тогда нижняя граница спектра спиновых волн

$$\omega_{\text{мин}} = \gamma \cdot H_i$$

и верхняя,

$$\omega_{\text{макс}} = \gamma [H_i (H_i + 4\pi M_s \sin^2 \Theta_k)]^{\frac{1}{2}}$$

совпадут, если принять  $\Theta \approx 0$ .

Для спиральных линий, применяемых в ЭВП (ЛБВ, ЛОВ и т. п.) и коаксиальных вентилях, указанное приближение является вполне допустимым, так как угол намотки спирали  $\Theta$  достаточно мал.

Следовательно,  $\omega_{\text{макс}}$  лежит в самом начале спектра собственных частот прецессии ферритового кольца.

Кроме того, имеет место максимальное вырождение плоских спиновых волн с однородной прецессией, т. е. вырождение тем больше, чем меньше размагничивающий фактор образца  $N_\varphi$  в направлении намагничивания. В нашем случае  $N_\varphi = 0$ .

Если  $H_i$  соответствует насыщению, то для кристалликов феррита, например, с кубической решеткой и отрицательной анизотропией

$$H_i = \frac{4\pi M_s}{4} + \frac{|K_1|}{M_s},$$

где  $K_1$  — первая константа анизотропии.

Для большинства ферритов

$$\frac{K_1}{M_s} \ll \frac{4\pi M_s}{3}.$$

Тогда спектр невязимного поглощения в спиральной линии с азимутально намагниченными кольцами будет лежать в пределах

$$\gamma \frac{4\pi M_s}{3} < \omega < \gamma \left( \frac{4\pi M_s}{3} + 2\pi M_s \right),$$

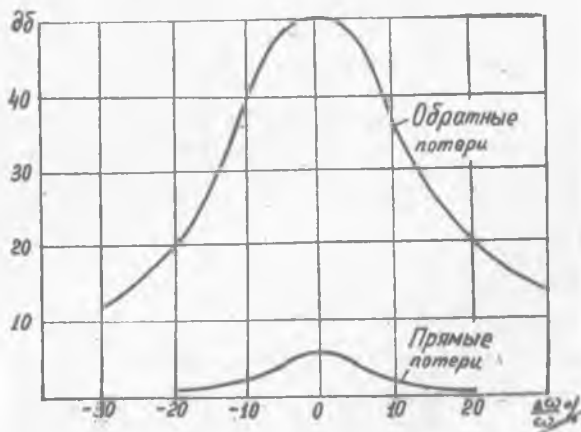


Рис. 2.

откуда

$$\omega_{\text{ср}} = \gamma \frac{7\pi M_s}{3}$$

На рис. 2 приведена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) вентиляющего устройства на феррите ЗСЧ15. Резонансный характер имеют не только обратные, но и прямые потери. Это объясняется малостью коэффициента прямоугольности феррита, который составляет 0,82.

Используя ферриты с различной намагниченностью, можно получить невзаимное затухание в широкой полосе частот.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. E p a n d e r V. N. Proc. I. R. E., 1956, 44, 10, 1421.
  2. W a k e r L. R. Phys. Rev., 1957, 105, 2, 390.
  3. М и к а э л я н А. П. Теория и применение ферритов на СВЧ, ГЭИ, 1963.
-