

05;09;11

Пространственное распределение излучения электромагнитных волн, сопровождающего распространение поверхностных магнитостатических волн в ферритовой пленке, намагниченной поперечно неоднородным полем

© В.И. Зубков, В.И. Щеглов

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязино

Поступило в Редакцию 12 января 2000 г.

Предложена модель, описывающая пространственное распределение излучения электромагнитных волн (ЭМВ), сопровождающего распространение поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ) в ферритовой пленке (ФП), намагниченной поперечно неоднородным полем. Рассчитана диаграмма направленности излучения и показано, что она имеет вид двух лепестков, симметрично расположенных относительно плоскости ФП, наклоненных вперед по ходу распространения ПМСВ, причем величина наклона возрастает по мере приближения скорости ПМСВ к скорости ЭМВ в ФП. Полученные результаты дают хорошее качественное согласие с экспериментом.

В [1] сообщалось об обнаружении излучения электромагнитных волн (ЭМВ) из ферритовой пленки (ФП), намагниченной касательным полем H_g , напряженность которого менялась по линейному закону в перпендикулярном ему направлении, при распространении в ней перпендикулярно направлению поля H_g в сторону его увеличения поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ). При этом длина ПМСВ постепенно возрастала и стремилась к длине ЭМВ в свободном пространстве, что сопровождалось интенсивным преобразованием энергии ПМСВ в энергию ЭМВ, которая излучалась в открытое пространство. В [2] экспериментально исследовано пространственное распределение излучения ЭМВ в верхнем полупространстве (нижнее полупространство было закрыто поглощающим слоем) и обнаружено, что диаграмма направленности излучения относительно плоскости ФП имеет вид широкого

лепестка, сильно (на десятки градусов) наклоненного вперед по ходу распространения ПМСВ. В [2] утверждалось, что полная диаграмма направленности симметрична относительно плоскости ФП и имеет обращенные вперед два лепестка. Ниже сделана попытка объяснить наблюдаемую диаграмму направленности, поскольку это важно для устройств обработки информации на ПМСВ [3].

Введем систему координат $Oxyz$, принятую в [2]: плоскость xy совпадает с плоскостью ФП, ось Ox перпендикулярна плоскости ФП, ось Oz совпадает с направлением постоянного магнитного поля H_g , величина которого меняется в направлении оси Oy . ПМСВ распространяется вдоль оси Oy . Следуя известным положениям электродинамики гиротропных сред [4] и полагая, что диэлектрическая проницаемость ФП $\epsilon_f = 1$, запишем электрическое поле, создаваемое единицей площади ФП с однородным распределением намагниченности, вдали от ФП:

$$\mathbf{E}(\mathbf{R}) = -2\pi G_m v_e^{-2} \lambda^{-2} [\mathbf{R} \times \mathbf{w}_m] + 2\pi G_m v_e^{-1} \lambda^{-2} [\mathbf{v}_m \times \text{grad} \lambda], \quad (1)$$

где

$$\lambda = R - v_e^{-1} \mathbf{v}_m \mathbf{R}, \quad \mathbf{w}_m = \frac{\partial \mathbf{v}_m}{\partial t}, \quad G_m = M_{x1} - M_{x2} - \left(\frac{\partial M_y}{\partial y} \right) d,$$

\mathbf{R} — расстояние от места излучения ЭМВ до точки наблюдения, v_m — фазовая скорость распространения ПМСВ, v_e — скорость ЭМВ, d — толщина ФП, а цифры 1 и 2 относятся к ее разным поверхностям. В (1) лишь первое слагаемое описывает излучение, поскольку оно пропорционально R^{-1} (второе слагаемое пропорционально R^{-2}). Так как ПМСВ распространяется перпендикулярно полю H_g , то направления векторов \mathbf{w}_m и \mathbf{v}_m совпадают. Вводя угол α между вектором \mathbf{R} и направлением распространения ПМСВ и оставляя в (1) только первое слагаемое, можно записать:

$$E(R) = 2\pi G_m v_e^{-2} R^{-1} w_m (1 - v_m v_e^{-1} \cos \alpha)^{-2} \sin \alpha. \quad (2)$$

Из (2) видно, что напряженность поля $E(R)$ действительно пропорциональна R^{-1} , что характерно для излучения, а его пространственное распределение определяется двумя последними сомножителями. Так как в ЭМВ магнитное поле пропорционально электрическому, то поток излучаемой энергии пропорционален квадрату выражения (2). В предпоследний сомножитель входит величина $v_m v_e^{-1}$, которая может быть

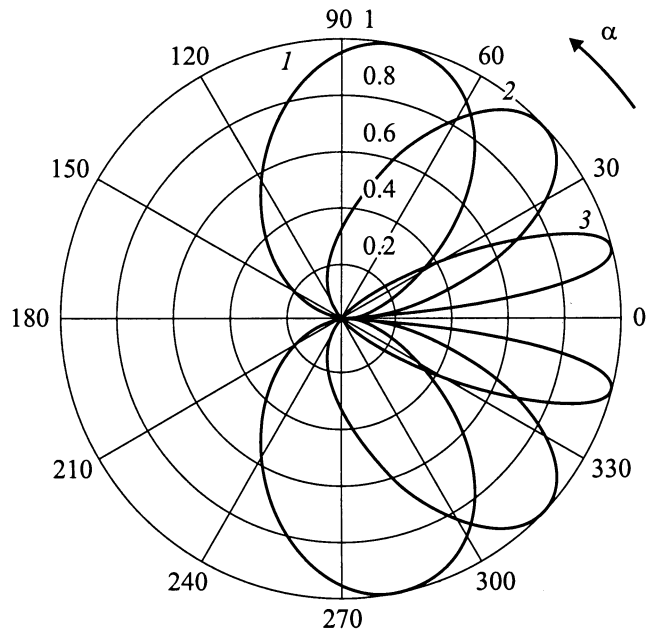


Рис. 1. Диаграмма направленности излучения ЭМВ при значениях $v_m v_e^{-1}$: 0.1; 0.5; 0.9 (кривые 1–3 соответственно).

сравнима с единицей, так как при распространении ПМСВ в сторону увеличения поля H_g скорость v_m в пределе стремится к скорости v_e . Реально достижимая величина $v_m v_e^{-1}$ определяется условиями эксперимента.

Как видно из (2), поле излучаемой ЭМВ пропорционально величине w_m , которая зависит от градиента поля H_g по направлению распространения волны. Поток энергии излучения должен быть тем больше, чем больше этот градиент. Так как намагниченность в соседних участках ФП, удаленных друг от друга на расстояние полуволны, колеблется в противофазе, то потоки энергии излучения от них взаимно компенсируются. Нескомпенсированным остается только излучение от участка ФП, поле H_g в котором определяет границу спектра ПМСВ, а протяженность приблизительно равна половине максимальной длины

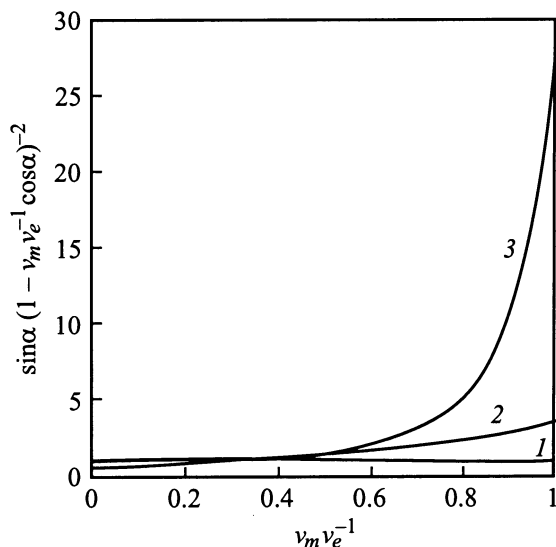


Рис. 2. Зависимости произведения двух последних сомножителей выражения (2) от величины $v_m v_e^{-1}$ для углов α : 90° , 60° , 30° (кривые 1–3 соответственно).

ПМСВ. Площадь этого участка получается наибольшей, когда его протяженность близка к половине длины ЭМВ. Это значит, что поле H_g на длине ЭМВ должно меняться мало и его градиент должен быть достаточно мал. Однако при очень малом градиенте поля H_g путь от возбуждающего преобразователя до места излучения может настолько возрасти, что ПМСВ затухнет раньше, чем излучится. Таким образом, для максимизации потока излучаемой энергии градиент поля H_g должен иметь промежуточное значение, определяемое совместным действием всех перечисленных факторов. Величина градиента поля H_g определяет только интенсивность излучения, пространственное же его распределение, как следует из (2), при изменении градиента поля H_g не меняется.

Рассмотрим форму диаграммы направленности излучения ЭМВ, описываемую формулой (2). На рис. 1 в полярных координатах построены нормированные квадраты произведения двух последних со-

множителей выражения (2), характеризующих поток энергии ЭМВ, при разных значениях $v_m v_e^{-1}$. Плоскость чертежа есть плоскость xOy декартовой системы координат (ось Ox на рис. 1 вертикальна, ось Oy — горизонтальна). Плоскость ФП перпендикулярна плоскости xOy и проходит через ось Oy . Постоянное поле H_g лежит в плоскости ФП. Горизонтальной стрелкой показано направление распространения ПМСВ. Кривые 1–3 соответствуют значениям $v_m v_e^{-1}$, равным 0.1, 0.5 и 0.9. Видно, что диаграмма направленности содержит два лепестка, симметричных относительно плоскости ФП, причем с увеличением $v_m v_e^{-1}$ лепестки наклоняются вперед по ходу распространения ПМСВ. Эти особенности диаграммы направленности совпадают с описанными в [2]. Из (2) видно, что поток энергии излучения в фиксированном направлении растет при увеличении $v_m v_e^{-1}$. Эта зависимость иллюстрируется рис. 2, где построены зависимости произведения двух последних множителей выражения (2) от $v_m v_e^{-1}$ для разных углов α . Кривые 1–3 соответствуют углам α , равным 90° , 60° и 30° . Видно, что поле излучения под прямым углом к направлению распространения ПМСВ от v_m не зависит (определяется только величиной w_m в (2)), а поле излучения вперед по направлению распространения ПМСВ тем больше, чем больше $v_m v_e^{-1}$, причем с уменьшением угла α эта зависимость увеличивается.

Таким образом, предложена модель, качественно хорошо описывающая наблюдаемые экспериментальные результаты [2]. Можно полагать, что количественного согласия удастся достичь путем учета конкретных параметров эксперимента.

Список литературы

- [1] *Вашковский А.В., Зубков В.И., Локк Э.Г., Щеглов В.И.* // Радиотехника и электроника. 1993. Т. 38. № 5. С. 818–824.
- [2] *Вашковский А.В., Локк Э.Г.* // Радиотехника и электроника. 1995. Т. 40. № 7. С. 1030–1037.
- [3] *Исхак В.С.* // ТИИЭР. 1988. Т. 76. № 2. С. 86–104.
- [4] *Гуревич А.Г., Мелков Г.А.* Магнитные колебания и волны. М.: Наука, 1994. 464 с.