

ТРАЕКТОРИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНО НАМАГНИЧЕННЫХ ФЕРРИТОВЫХ ПЛЕНКАХ

А.В. Вашковский, В.И. Зубков,
Э.Г. Локк, В.И. Щеглов

В настоящее время актуально исследование возможностей создания систем аналоговой обработки информации в СВЧ-диапазоне на магнитоэлектрических волнах (МСВ), распространяющихся в ферритовых пленках (ФП). Функциональные возможности таких систем уникально широки благодаря разнообразию и изменчивости дисперсионных свойств, что позволяет эффективно управлять характеристиками устройств на МСВ [1]. Среди способов управления характеристиками устройств на МСВ (резонаторов, линий задержки и др. [1, 2]) весьма перспективным, но слабо изученным, является создание неоднородности постоянного магнитного поля H_C (далее - поля H_C) на пути распространения МСВ. Теоретически изучены лишь траектории объемной МСВ с заданной частотой в поле H_C типа "вала" [3]. Предлагаемая работа посвящена исследованию траекторий поверхностных МСВ (ПМСВ) различных частот при различных формах неоднородности поля H_C .

Рассмотрим распространение ПМСВ в поле $\vec{H}_C = \vec{H}_0 + \vec{H}_H$, где \vec{H}_0 - однородное поле, а \vec{H}_H - неоднородная добавка к нему. Пусть $H_H \ll H_0$ и медленно меняется на расстоянии порядка длины ПМСВ. Тогда, по аналогии с [3], можно показать, что достаточен учет лишь составляющей поля H_H вдоль поля H_0 . Предположим, что плоскость yOz совпадает с поверхностью ФП, и по ней распространяется ПМСВ с частотой ω и волновым вектором k . Угол между вектором k и осью Oy равен φ , а угол между направлением групповой скорости \vec{s} и осью Oy - ψ (см. вставку на рис. 1). Поле H_z направлено вдоль оси Oz и задано в виде:

$$H_z = (\Omega_H + \alpha z + cz^2) \cdot 4\pi M_0, \quad (1)$$

где $\Omega_H = \frac{H_0}{4\pi M_0}$, $4\pi M_0$ - намагниченность насыщения ФП.

Дисперсионное уравнение для ПМСВ получаем аналогично [4, 5] в виде

$$k = \frac{1}{2\alpha d} \ln \frac{\beta + 2\alpha\mu}{\beta - 2\alpha\mu}, \quad (2)$$

где

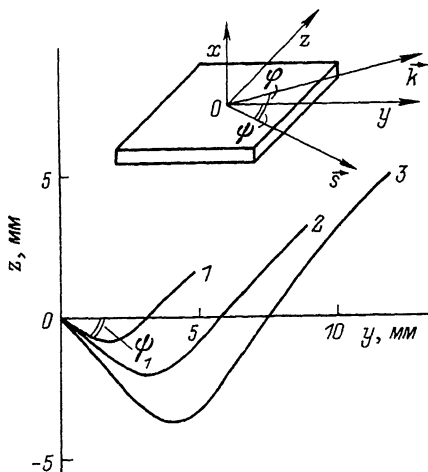


Рис. 1.

$$\alpha = \sqrt{\cos^2 \varphi + \frac{\sin^2 \varphi}{\mu}}; \quad \beta = (y^2 - \mu^2) \cos^2 \varphi - \mu \sin^2 \varphi - 1;$$

$$\mu = 1 + \frac{\Omega_{H_z}}{\Omega_{H_z}^2 - \Omega^2}; \quad \nu = \frac{\Omega}{\Omega_{H_z}^2 - \Omega^2}, \quad \Omega = \frac{\omega}{4\pi | \gamma | M_0}; \quad \Omega_{H_z} = \frac{H_z}{4\pi M_0};$$

d – толщина ФП, γ – гиромагнитное соотношение для электрона.

Задача о распространении ПМСВ в ФП, помещенной в поле H_c , сводится к построению траекторий движения волнового пакета, совпадающих в каждой точке поверхности ФП с направлением переноса энергии, т.е. с направлением групповой скорости \vec{S} . Нахождение траекторий по методу Гамильтона–Якоби производится, согласно [5, 6], из решения системы трех дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dy} &= \frac{k \cdot \sin \varphi - \frac{\partial k}{\partial \varphi} \cdot \cos \varphi}{k \cdot \cos \varphi + \frac{\partial k}{\partial \varphi} \cdot \sin \varphi}, \\ \frac{dk}{dy} &= -k \cdot \frac{\frac{\partial k}{\partial y} \cdot \cos \varphi + \frac{\partial k}{\partial z} \cdot \sin \varphi}{k \cdot \cos \varphi + \frac{\partial k}{\partial \varphi} \cdot \sin \varphi}, \\ \frac{d\varphi}{dy} &= \frac{\frac{\partial k}{\partial y} \cdot \sin \varphi - \frac{\partial k}{\partial z} \cdot \cos \varphi}{k \cdot \cos \varphi + \frac{\partial k}{\partial \varphi} \cdot \sin \varphi}, \end{aligned} \quad (3)$$

где частные производные $\frac{\partial k}{\partial \varphi}$, $\frac{\partial k}{\partial y}$, $\frac{\partial k}{\partial z}$ вычисляются из соотношения (2).

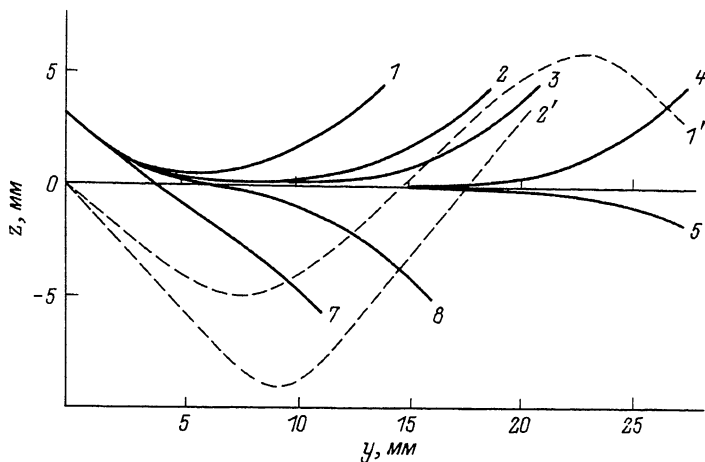


Рис. 2.

Решение системы (3) проводилось на ЭВМ по методу Эйлера при $\Omega_H = 0.52$. На рис. 1 показаны траектории ПМСВ трех различных частот Ω (кривые: 1 - 0.90, 2 - 0.92, 3 - 0.94), выходящие из начала координат с $\varphi = 30^\circ$ в поле, описываемом выражением (1), где $\alpha = 0.01 \text{ мм}^{-1}$, $c = 0$. Видно, что траектории ПМСВ расходятся и отклоняются в сторону больших значений поля H_c тем сильнее, чем ниже частота ПМСВ. Их ход свидетельствует о сильной пространственно-угловой дисперсии ПМСВ различных частот, в несколько раз превышающей дисперсию ПМСВ в однородном поле H_0 .

На рис. 2 показаны траектории ПМСВ в „квадратичном” поле H_c , описываемом выражением (1), где $\alpha = 0$, $|c| = 0.001 \text{ мм}^{-2}$. Сплошные кривые соответствуют случаю $c > 0$ (поле в виде „канавы”), штриховые - $c < 0$ (поле в виде „вала”). Сплошные кривые описывают траектории ПМСВ различных частот Ω (кривые: 1 - $\Omega = 0.92$, 2 - 0.921, 3 - 0.9211, 4 - 0.92119, 5 - 0.9212, 6 - 0.922, 7 - 0.93), выходящие из точки с координатами $y = 0$, $z = 3 \text{ мм}$ и с $\varphi = 30^\circ$. Штриховые кривые описывают траектории ПМСВ с частотой $\Omega = 0.94$ с различными углами φ (кривые 1' - $\varphi = 20^\circ$, 2' - 30°). Из рис. 2 видно, что при распространении ПМСВ в поле типа „канавы” ПМСВ низких частот отражаются от дна „канавы”, ПМСВ высоких частот проходят с небольшим преломлением, а ПМСВ средних частот распространяются вдоль дна „канавы”. После прохождения через дно „канавы” ПМСВ отклоняются в сторону больших значений поля H_c аналогично предыдущему случаю. По мере удаления от начала координат частотный интервал ПМСВ $\Delta\Omega$, распространяющихся вдоль дна „канавы”, сужается: при $y = 7 \text{ мм}$ $\Delta\Omega \approx 0.01$ (см. траектории 1 и 7), при $y = 12 \text{ мм}$ $\Delta\Omega \approx 0.001$

(см. траектории 2 и 6), при $y=25$ мм $\Delta\Omega \approx 0.00001$ (см. траектории 4 и 5).

Из рис. 2 видно, что при распространении ПМСВ заданной частоты, но с различными φ в поле типа „вала“ обе траектории, периодически осциллируя в пространстве, распространяются вдоль вершины „вала“ ($Z=0$), причем с увеличением угла φ период осцилляций увеличивается. Исследование траекторий ПМСВ различных частот показывает, что с увеличением частоты период осцилляций также увеличивается. Осцилляции траекторий ПМСВ обусловлены выявленным выше их отклонением в сторону больших значений H_c . Вдоль вершины „вала“ распространяются ПМСВ любой частоты, но только при $\varphi=0^\circ$.

Таким образом, рассмотрены траектории ПМСВ в неоднородных полях H_c типа „линейного“, „канавы“ и „вала“, которые позволяют судить о траекториях ПМСВ в реальном неоднородном поле. Выяснено, что траектории ПМСВ любой частоты при любой неоднородности поля отклоняются в сторону больших значений поля H_c , при этом отклонение тем значительней, чем меньше частота ПМСВ. Выявленные свойства траекторий ПМСВ необходимо учитывать при создании устройств на МСВ.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В а п н е Г.М. СВЧ-устройства на магнитостатических волнах. – Обзоры по электронной технике, серия 1, Электроника СВЧ, 1984, № 8 (1060).
- [2] З у б к о в В.И., Ш е г л о в В.И. // Радиотехника и электроника. 1972. Т. 17. № 12. С. 2590–2591.
- [3] Б у р л а к Г.Н. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. № 24. С. 1476–1480.
- [4] D a m o n R.W., E s h b a c h J.R. // J. Phys. Chem. Sol. 1961. V. 19. N 3/4. P. 308–320.
- [5] Б е с п я т ы х Ю.И., З у б к о в В.И., Т а р а с е н к о В.В. // ЖТФ. 1980. Т. 50. № 1. С. 140–146.

Институт радиотехники
и электроники
АН СССР

Поступило в Редакцию
22 ноября 1988 г.