

05;09

Траектории обратных поверхностных магнитостатических волн в структуре феррит–диэлектрик–металл, намагниченной неоднородным полем типа ”вала”

© В.И. Зубков, В.И. Щеглов

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязино

Поступило в Редакцию 2 апреля 1998 г.

Рассчитаны траектории обратных поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ) в структуре феррит–диэлектрик–металл, намагниченной неоднородным полем типа ”вала”. Показано, что существуют четыре различных типа траекторий. Определены условия, при которых обратные ПМСВ распространяются в направлении, противоположном направлению прямых ПМСВ, и в направлении, совпадающем с направлением прямых ПМСВ.

Поверхностные магнитостатические волны (ПМСВ), распространяющиеся в ферритовых пленках (ФП) и структурах на их основе (феррит–диэлектрик–металл (полупроводник, сверхпроводник и др.)), используются в аналоговых устройствах обработки информации в диапазоне СВЧ [1,2]. Неоднородное магнитное поле в таких устройствах позволяет минимизировать их размеры и реализовать новые принципы обработки информации [3]. Это делает актуальным исследование распространения обратных ПМСВ в структуре феррит–диэлектрик–металл (ФДМ-структуре), намагниченной неоднородным полем H_g типа ”вала”, результаты которого приведены ниже.

ФДМ-структура состоит из ФП толщиной d , отделенной от слоя металла слоем диэлектрика толщиной p . Плоскость $уОz$ системы координат параллельна плоскости ФП, точка O начала координат находится посередине толщины ФП, ось Ox перпендикулярна плоскости ФП.

Поле H_g направлено в плоскости ФП параллельно оси Oz и имеет конфигурацию типа ”вала” [3,4]. Его напряженность зависит от координат

наты z по квадратичному закону:

$$H_g = H_0 - H_M z^2 a^{-1}.$$

Вершина вала вытянута вдоль оси Oy .

Дисперсионное соотношение для ПМСВ в ФДМ-структуре подробно исследовано в [4,5]. Из-за гиротропных свойств ФП направление вектора фазовой скорости \mathbf{k} ПМСВ не совпадает с направлением вектора групповой скорости \mathbf{s} . Угол между вектором \mathbf{k} и осью Oy обозначим через φ , а угол между вектором \mathbf{s} и осью Oy обозначим через ψ . По определению [1,2,5], прямые волны — такие, у которых проекция вектора групповой скорости на направление вектора фазовой скорости положительна, а обратные — такие, для которых эта проекция отрицательна. При распространении ПМСВ с заданной частотой f проходит участки ФП, находящиеся в разных полях H_g .

Анализ показывает, что все возможные виды траекторий обратных ПМСВ можно выяснить на примере ПМСВ с частотой $f = 3650$ МГц в ФДМ-структуре с ФП из железо-иттриевого граната с намагниченностью насыщения 1750 Гс, с $d = 15 \mu\text{m}$ и $p = 25 \mu\text{m}$, намагниченной полем H_g с $H_0 = 437.5$ Ое, $H_M = 4H_0$, $a = 128 \text{ cm}^{-2}$.

На рис. 1 показаны дисперсионные кривые ПМСВ при $\varphi = 0$ для разных значений поля H_g . Кривая 1 соответствует вершине вала ($H_g = H_0$). Обратным ПМСВ соответствуют спадающие участки дисперсионных кривых. Рассмотрим возбуждение ПМСВ на вершине вала. Из рис. 1 видно, что обратные ПМСВ существуют только в интервале полей — от $H_0 = 437.5$ Ое до $H_{\min} = 431.9$ Ое (кривые 1–4). Этот интервал определяет на плоскости ФП границы канала распространения ПМСВ, параллельные оси Oy и расположенные симметрично по обе стороны от нее.

Траектории ПМСВ удобно анализировать с помощью изочастотных кривых, построенных на плоскости $k_y, 0k_z$ [2,3,5]. На рис. 2 построено семейство изочастотных кривых ПМСВ для разных значений поля H_g , лежащих в интервале от H_0 до H_{\min} . Возбуждение ПМСВ на вершине вала описывает кривая 1 (жирная). Рассмотрим характерные точки этой кривой. Буквой M обозначена точка, через которую проходит касательная к изочастотной кривой $k_z(k_y)$, проведенная из начала координат. Буквой N обозначена точка, через которую проходит касательная к изочастотной кривой, параллельная оси k_y . Волновой вектор \mathbf{k} соответствует лучу, проведенному из начала координат до точки пересечения с

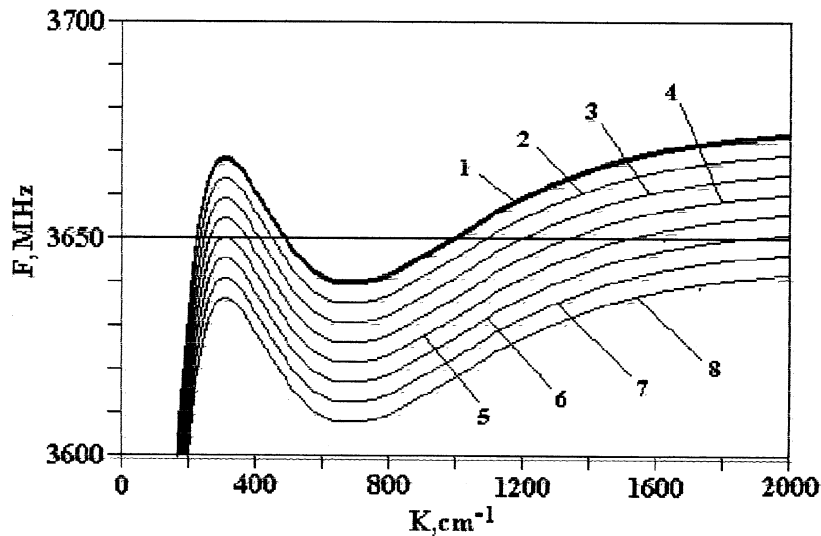


Рис. 1. Дисперсионные кривые ПМСВ при различных значениях поля H_g , Ое: 1 — 437.5, 2 — 436, 3 — 434.5, 4 — 433, 5 — 431.5, 6 — 430, 7 — 428.5, 8 — 427.

изочастотной кривой $k_z(k_y)$. Вектор групповой скорости s перпендикулярен касательной к изочастотной кривой $k_z(k_y)$, построенной в этой точке пересечения. Характер возбуждаемых ПМСВ определяется положением точки конца волнового вектора \mathbf{k} на изочастотной кривой $k_z(k_y)$. Если конец волнового вектора \mathbf{k} лежит левее точки M , волны прямые, правее точки M — обратные. Если конец волнового вектора \mathbf{k} лежит между точками M и N , то обратные волны распространяются в положительном направлении оси Oy (как и прямые ПМСВ [3–5]). Если конец волнового вектора \mathbf{k} лежит правее точки N , то обратные волны распространяются в отрицательном направлении оси Oy .

На рис. 2 в качестве примера показаны два волновых вектора: \mathbf{k}_1 , у которого $\varphi = 7.4^\circ$, и \mathbf{k}_2 , у которого $\varphi = 7.9^\circ$. Соответствующие векторы групповых скоростей обозначены через s_1 и s_2 . На рис. 2 видно, что вектору \mathbf{k}_1 соответствуют обратные волны, распространяющиеся

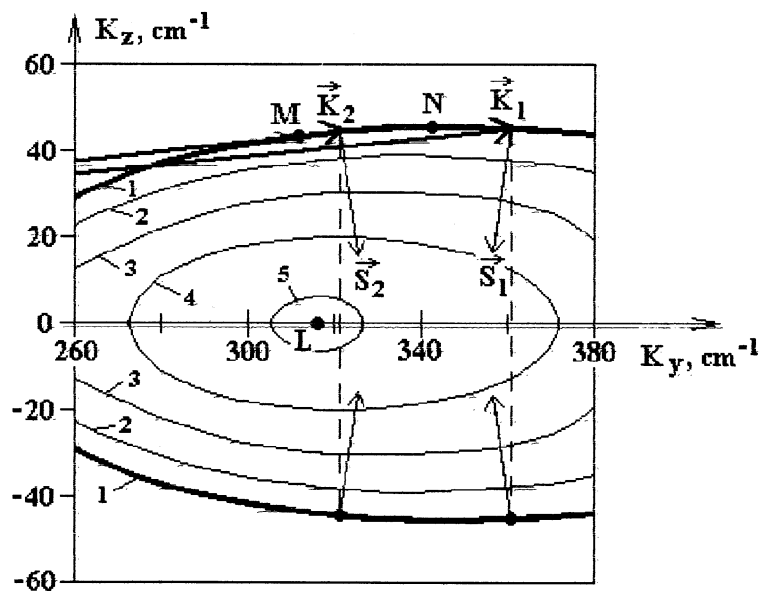


Рис. 2. Изочастотные кривые ПМСВ с $f = 3650$ МГц при различных значениях поля H_g , Ось: 1 — 437.5, 2 — 436, 3 — 434.5, 4 — 433, 5 — 431.9.

в отрицательном направлении оси Oy , а вектору \mathbf{k}_2 — в положительном. При распространении ПМСВ всегда сохраняется проекция начального волнового вектора \mathbf{k} на ось Oy [4,5]. Для \mathbf{k}_1 и \mathbf{k}_2 этому соответствуют вертикальные пунктирные линии, параллельные оси Oy . При распространении ПМСВ последовательно проходит от оси вала к его периферии, что соответствует движению конца волнового вектора по указанной пунктирной линии к оси Oy , после чего ПМСВ снова поворачивает к оси вала, что соответствует удалению конца волнового вектора от оси Oy . По достижении оси вала ПМСВ пересекает ее и процесс повторяется, в результате чего траектория ПМСВ описывается периодической функцией с постоянной амплитудой.

На рис. 3 показаны траектории обратных ПМСВ, построенные для различных значений угла φ . Видно, что возможны четыре различных вида траекторий.

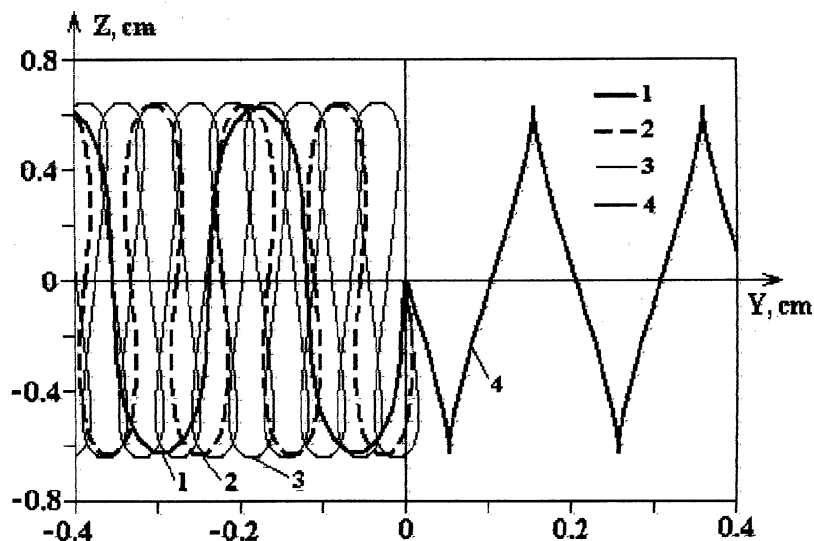


Рис. 3. Траектория обратных ПМСВ с $f = 3650$ МГц при различных начальных углах φ : 1 — 7.4 , 2 — 7.6 , 3 — 7.7 , 4 — 7.9° .

1. Траектория псевдосинусоидальная (кривая 1). ПМСВ распространяется монотонно в отрицательном направлении оси Oy .

2. Траектория псевдомеандровая Ω -образная без самопересечения (кривая 2: полупериоды меандра похожи на греческую букву Ω без участков, параллельных горизонтальной оси (положительный на обычную Ω , отрицательный — на перевернутую вершиной вниз Ω)). Касательные к траектории в соседних точках с $z = 0$ пересекаются вне траектории ПМСВ в целом распространяется в отрицательном направлении оси Oy , но имеются участки, на которых она распространяется в положительном направлении оси Oy . Поворот траектории происходит плавно.

3. Траектория псевдомеандровая Ω -образная с самопересечением (кривая 3). Касательные к траектории в соседних точках с $z = 0$ пересекаются внутри траектории. ПМСВ в целом распространяется в отрицательном направлении оси Oy , однако участки, на которых она

распространяется в положительном направлении оси Oy , настолько велики, что происходит самопересечение траектории.

4. Траектория псевдопилообразная (кривая 4). ПМСВ в целом распространяется в положительном направлении оси Oy , однако имеются участки, на которых она распространяется в отрицательном направлении оси Oy . Эти участки крайне малы и поворот траектории происходит резко.

Список литературы

- [1] Исхак В.С. // ТИИЭР. 1988. Т. 76. № 2. С. 86–104.
- [2] Вашковский А.В., Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов: Изд. СГУ, 1993. 312 с.
- [3] *Vashkovksy A.V., Zubkov V.I., Lock E.H., Shcheglov V.I.* // IEEE Trans. on Magn. 1990. V. 29. N 5. P. 1480–1482.
- [4] Вашковский А.В., Зубков В.И., Щеглов В.И. // Радиотехника и электроника. 1996. Т. 41. № 12. С. 1413–1424.
- [5] Зубков В.И., Щеглов В.И. // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42. № 9. С. 1114–1120.