

01; 06; 09

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛОСКОСТЕЙ НА СПЕКТР ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ДВУХСЛОЙНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

В. И. Зубков, В. А. Епанечников

Впервые показано, что в слоистых структурах металл—диэлектрик—феррит—феррит и металл—диэлектрик—феррит—феррит—диэлектрик—металл существуют три различных по своим характерным особенностям типа спектров поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ). Изучена трансформация всех типов спектров ПМСВ в зависимости от толщины диэлектриков, что позволяет судить о возможностях управления спектрами ПМСВ с помощью металла.

Введение

Изучение нового класса волноведущих структур — многослойных ферритовых пленок — актуально, поскольку многообразие типов волн позволяет существенно расширить функциональные возможности систем аналоговой обработки информации, создаваемых на таких пленках, по сравнению с аналогичными на однослойных пленках. К настоящему времени сделан первый шаг в этом направлении — подробно изучен спектр поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ) в многослойных ферритовых пленках [1–5]. Необходимо установить насколько эффективны традиционные пути управления спектром ПМСВ в однослойной ферритовой пленке для многослойных пленок.

Настоящая работа посвящена исследованию спектра ПМСВ в слоистой структуре металл—диэлектрик—феррит—феррит—диэлектрик—металл (м—д—ф—ф—д—м структуре),¹ что позволяет выяснить возможности и особенности управления спектром внешних и внутренних ПМСВ в двухслойной ферритовой пленке (ДФП) с помощью приближения к ее поверхностям параллельных им металлических плоскостей. Существующая на этот счет информация (см. [6, 7], обзор [8] и литературу в нем) сводится к слепому расчету на ЭВМ спектра внешних ПМСВ в м—д—ф—ф—д—м структурах при случайных наборах параметров отдельных слоев и не позволяет вскрыть существующие физические закономерности.

1. Дисперсионное соотношение для ПМСВ в м—д—ф—ф—д—м структуре

Рассмотрим спектр ПМСВ в слоистой м—д—ф—ф—д—м структуре. Считаем, что плоскость $x=0$ проходит через границу между ферритами,² номера слоев структуры, расположенных выше плоскости $x=0$, положительны, а расположенных ниже, отрицательны. Каждый феррит характеризуется своей намагниченностью насыщения $4\pi M_m$ и толщиной d_m ($m=-1; 1$), а каждый диэлектрик — своими диэлектрической проницаемостью ϵ_n и толщиной b_n ($n=-1; 1$). Металл

¹ В данной работе аналогичная аббревиатура вводится и для обозначения всех других структур, являющихся частным случаем данной: например, м—д—ф—ф структура — структура металл—диэлектрик—феррит—феррит, м—д—ф—м структура — структура металл—диэлектрик—феррит—металл, м—д—ф структура — структура металл—диэлектрик—феррит и т. п.

² Здесь и далее для краткости вместо словосочетаний «ферритовый слой», «диэлектрический слой», «металлическая плоскость» употребляются слова «феррит», «диэлектрик», «металл».

считается идеально проводящим. Внешнее постоянное магнитное поле H_0 направлено вдоль оси Z , а ПМСВ распространяется вдоль оси Y .

Дисперсионное соотношение для ПМСВ получаем по стандартной процедуре (см., например, [1⁻⁵]), решая уравнение Максвелла в магнитостатическом приближении и уравнение движения намагниченности с граничными условиями, требующими непрерывности нормальной составляющей магнитной индукции и тангенциальных составляющих магнитного поля на всех границах раздела. Оно имеет вид

$$\begin{aligned} & \frac{-F_1 + E_{1,1} - (E_{1,-1} - \mu_{\perp,1}) \operatorname{cth} |k| b_1 - 1}{E_{1,1} + \mu_{\perp,1} (\operatorname{cth} |k| b_1 - 1)} = \\ & = \frac{F_{-1} - E_{-1,-1} + (E_{-1,1} - \mu_{\perp,-1}) \operatorname{cth} |k| b_{-1} - 1}{E_{-1,-1} + \mu_{\perp,-1} (\operatorname{cth} |k| b_{-1} - 1)}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$F_m = \frac{1}{\mu_m} + \mu_{\perp,m} + 2 \operatorname{cth} |k| d_m,$$

$$E_{m,1} = \mu_{\perp,m} + \operatorname{cth} |k| d_m + \frac{\nu_m}{\mu_m} \operatorname{sign} k,$$

$$E_{m,-1} = \mu_{\perp,m} + \operatorname{cth} |k| d_m - \frac{\nu_m}{\mu_m} \operatorname{sign} k, \quad (2)$$

$$\mu_m = 1 + \frac{\omega_H \omega_{M,m}}{\omega_H^2 - \omega^2}; \quad \nu_m = -\frac{\omega \omega_{M,m}}{\omega_H^2 - \omega^2},$$

$$\mu_{\perp,m} = \frac{\mu_m^2 - \nu_m^2}{\mu_m},$$

$$\omega_H = |\gamma_s| H_0; \quad \omega_{M,m} = |\gamma_s| 4\pi M_m, \quad (3)$$

где γ_s — гиромагнитное отношение для электрона, ω — частота ПМСВ, k — волновое число ПМСВ. Зависимость компонент полей ПМСВ от ω и k взята в виде $e^{i(\omega t - ky)}$.

Уравнение (1) является частным случаем общего уравнения из [1], а из него в свою очередь следуют все частные случаи, описанные в [1⁻⁸].

2. Спектр ПМСВ в м—д—ф—ф структуре

Выясним особенности спектра ПМСВ в м—д—ф—ф структуре по сравнению со спектром ПМСВ в м—д—ф структуре [9, 10] и ДФП [1, 2]. Известно [8-10], что особенностью спектра ПМСВ в м—д—ф структуре является наличие на зависимостях ω от k максимума, точки перегиба и минимума (при относительно больших толщинах диэлектрика b), а также максимума (при относительно малых b), который с уменьшением b смещается в сторону больших k . Точки максимума на зависимостях ω от k описывают превращение прямой ПМСВ в обратную, а точки минимума, наоборот, обратной ПМСВ в прямую. ПМСВ в м—д—ф структуре являются внешними.

Известно [1, 2, 5], что ПМСВ в ДФП делятся на внешние и внутренние, при этом при определенных соотношениях между намагниченностями насыщения ферритовых слоев и одним направлением распространения ПМСВ возможен резонанс связанных внешней и внутренней ПМСВ [2-4]. Условием резонанса внешней и внутренней волн является пересечение дисперсионных кривых парциальных волн. В результате внешняя и внутренняя волны меняются при $|k| \rightarrow \infty$ предельными частотами и распределением магнитостатического потенциала.

Возможны два типа м—д—ф—ф структур: в одной металл расположен над поверхностью верхнего феррита ($b_{-1} = \infty$), в другой — под поверхностью нижнего ($b_1 = \infty$). Дисперсионное соотношение для ПМСВ в таких структурах получаются из (1) соответственно при $\operatorname{cth} |k| b_{-1} = 1$ и $\operatorname{cth} |k| b_1 = 1$. Прежде всего необходимо установить, меняются ли предельные частоты ПМСВ при $k = 0$ и $|k| = \infty$ при приближении металла к поверхности ДФП.

Для примера подробно рассмотрим случай $b_{-1} = \infty$. Тогда из (1) следует, что оно имеет корни при $k=0$

$$\omega = \omega_{V, -1}, \quad \omega = \omega_{V, 1} \quad (4)$$

при $k \rightarrow \infty$

$$\omega = \begin{cases} \omega_{S, 1}, & \text{если } b_1 \neq 0, \\ \omega_{C, 1}, & \text{если } b_1 = 0, \end{cases}$$

$$\omega = \omega_{F, 1, -1}, \quad (5)$$

при $k \rightarrow \infty$

$$\omega = \omega_{S, -1}, \quad \omega = \omega_{-F, 1, -1}, \quad (6)$$

где

$$\omega_{V, m} = \sqrt{\omega_H(\omega_H + \omega_{M, m})},$$

$$\omega_{S, m} = \omega_H + 0.5\omega_{M, m},$$

$$\omega_{C, m} = \omega_H + \omega_{M, m},$$

$$\omega_{\pm F, 1, -1} = \mp \left(\frac{\omega_{M, 1} - \omega_{M, -1}}{4} \right) +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{\omega_{M, 1} - \omega_{M, -1}}{4} \right)^2 + \frac{\omega_H}{2} (2\omega_H + \omega_{M, 1} + \omega_{M, -1})}. \quad (7)$$

Из (4)–(7) видно, частоты ПМСВ при $k=0$ и $k=\infty$ в м–д–ф–ф структуре при $b_1 \neq 0$ такие же, как и в ДФП [2], а при $b_1=0$ такие же, как и в м–д–ф структуре [9, 10]. Пусть для определенности $\omega_{M, 1} < \omega_{M, -1}$. Тогда резонанс связанных внешней и внутренней волн возможен только для ПМСВ с $k > 0$, а условия его существования записываются в виде

$$\omega_{V, 1} < \omega_{V, -1}; \quad \omega_{F, 1, -1} < \omega_{C, 1} \quad (8)$$

или, если подставить (7) в (8),

$$\omega_{M, 1} < \omega_{M, -1} < \frac{\omega_{M, 1} (4\omega_H + 3\omega_{M, 1})}{\omega_H + \omega_{M, 1}}. \quad (9)$$

Условия (9) выполняются гораздо в больших интервалах изменения $\omega_{M, -1}$, чем аналогичные условия для ДФП (ср. с [1]).

Если $b_1 \neq 0$, то в (8) необходимо заменить $\omega_{C, 1}$ на максимальное значение частоты ПМСВ в м–д–ф структуре. При этом при больших b_1 резонанс внешней и внутренней волн невозможен, при некоторых b_1 возможно два резонанса связанных внешней и внутренней ПМСВ (поскольку дисперсионная зависимость внешней ПМСВ имеет экстремумы), а при достаточно малых b_1 возможен только один резонанс внешней и внутренней волн.

В структурах, где металл расположен под нижним ферритом, условия резонанса внешней и внутренней волн остаются такими же, как и в ДФП [2]. Более полную информацию о влиянии металла на спектр ПМСВ в ДФП можно получить, решая уравнение (1) при $b_{-1} = \infty$ и при $b_1 = \infty$ на ЭВМ. При расчетах были взяты следующие параметры: $H_0 = 700$ Э, $4\pi M_{-1} = 1750$ Гс, $d_{-1} = 0.5 d_1$, $d_1 = 0.001$ см. Необходимо рассмотреть три варианта структур: первая — структура, в которой нет резонанса внешней и внутренней ПМСВ (например, $4\pi M_1 = 600$ Гс, вторая — в которой резонанс внешней и внутренней ПМСВ существует в изолированной ДФП [2] (например, $4\pi M_1 = 1400$ Гс), третья — в которой указанный резонанс возможен только при наличии и определенном расположении металла (например, $4\pi M_1 = 1200$ Гс). Указанная нумерация структур проводится во всем дальнейшем изложении.

На рис. 1, а–в приведены зависимости частоты ПМСВ ω от волнового вектора k (спектры ПМСВ) для трех указанных выше м–д–ф–ф структур при различных толщинах диэлектриков $b_{\pm 1}$. Сплошные кривые относятся к случаю $b_{-1} = \infty$, штриховые и сплошные с цифрами со штрихом сверху — к случаю

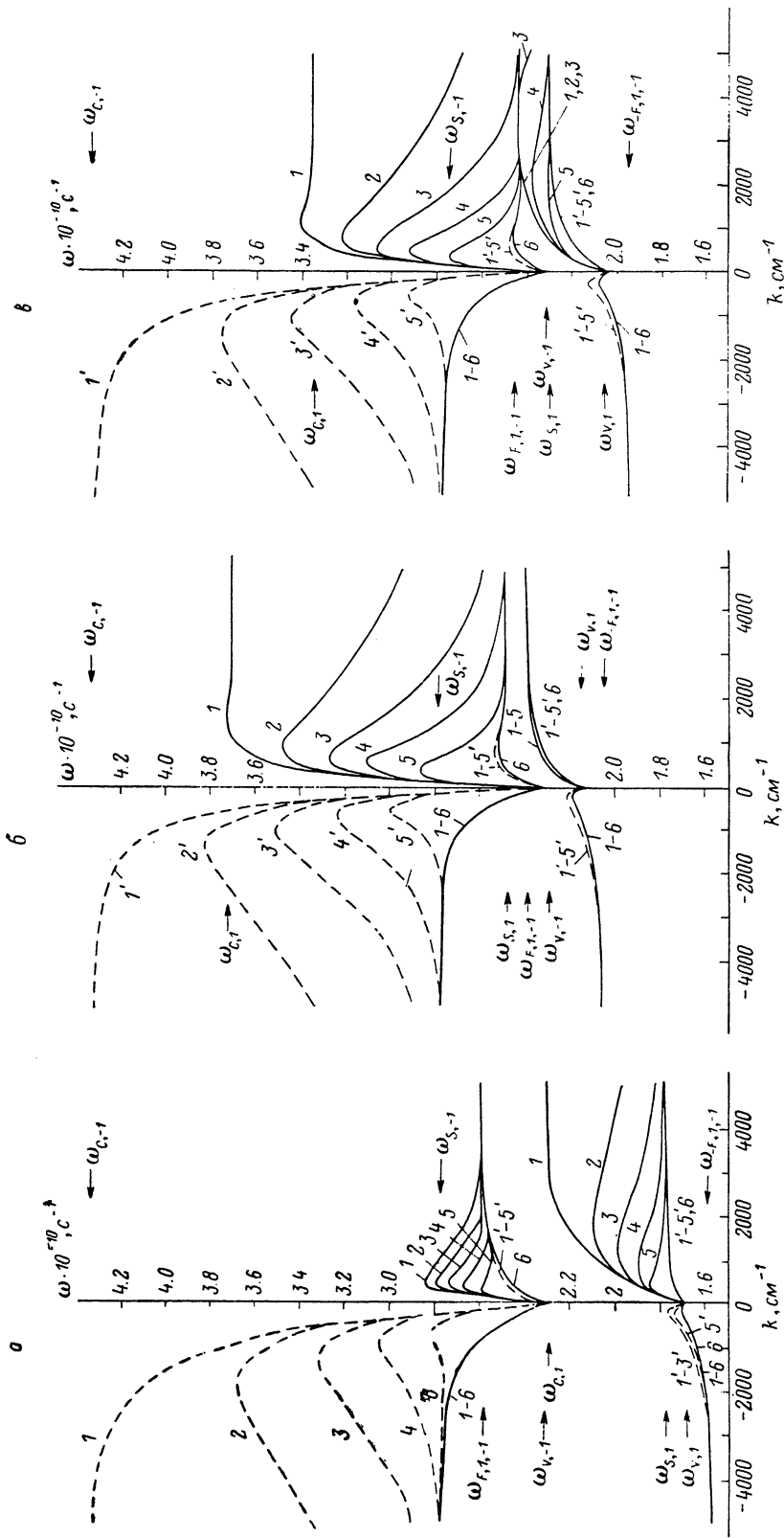


Рис. 1. Зависимость частоты ПМСВ ω от ее волнового числа в структуре металл—диэлектрик—феррит—феррит при различных $b_{\pm 1}$.
 $b_{d,1}^{-1}$; 1, 1' — 0; 2, 2' — 0.1; 3, 3' — 0.25; 4, 4' — 0.5; 5, 5' — 1; 6 — ∞ ; 4 πM_1 , Гс: а — 600, б — 1400, в — 1200.

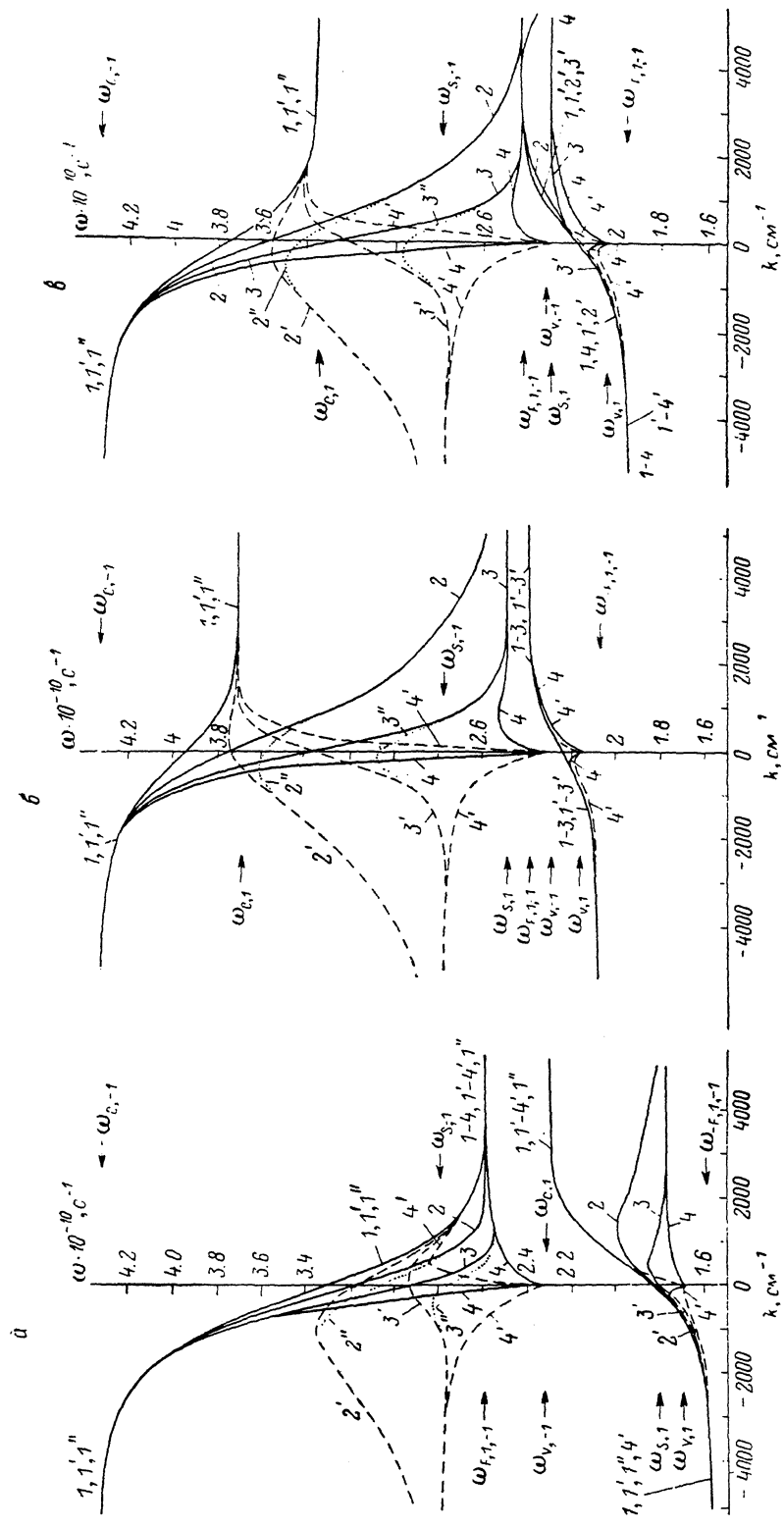


Рис. 2. Та же зависимость в структуре металл—диэлектрик—феррит—диэлектрик—металл при различных $b_{\pm 1}$. Сплошные кривые — $b_{-1} = 0$ и различные диффр. со штрихом, — $b_1 = 0$ и различные b_{-1} ($b_{-1} = 0$, d^{-1} — $1'$ — d' — значения те же, что и $1-4$); пунктир — $b_1 = b_{-1}$ ($b_1 d^{-1} = 1'$, $d^{-1} = 0$, $2'' = 0.25$, $3'' = 1$). Значения $4 \pi M_1$, те же, что и на рис. 1.

$b_1 = \infty$. Стрелками указаны предельные частоты $\omega_{V, \pm 1}$, $\omega_{S_1, \pm 1}$, $\omega_{C, \pm 1}$, $\omega_{\pm K, 1, -1}$, вычисленные по формулам (7). Видно, что в принципе металл влияет на спектр как внешних, так и внутренних ПМСВ. Влияние металла на спектр внутренней ПМСВ, распространяющейся по поверхности раздела между ферритами, объясняется тем, что магнитостатический потенциал внутренней ПМСВ не равен нулю на границе феррит—диэлектрик и его распределение по толщинам ферритов меняется с приближением металла к ферриту. Влияние металла максимально на спектр внешней ПМСВ, распространяющейся по ближайшей к металлу поверхности раздела слоев (независимо от того, была ли эта ПМСВ внешней всегда или стала ею из-за резонанса внешней и внутренней волн), и убывает с удалением от металла поверхности раздела, по которой распространяются ПМСВ.

Из рис. 1, *a—e* видно, что спектры ПМСВ во всех структурах, где металл расположен под нижним ферритом ($b_1 = \infty$), качественно похожи: металл сильно влияет на спектр внешней ПМСВ с $k < 0$ и очень слабо на спектр внутренней ПМСВ и с $k < 0$, и с $k > 0$ и не влияет на спектр внешней ПМСВ с $k > 0$. Дисперсионные зависимости для внешней ПМСВ качественно похожи на таковые в м—д—ф структуре [10], но идут круче.³ Металл увеличивает незначительно распространения ПМСВ.

Рассмотрим спектр ПМСВ в структурах, где металл расположен над верхним ферритом ($b_{-1} = \infty$). Из рис. 1, *a—e* видно, что спектры ПМСВ с $k < 0$ во всех трех структурах качественно похожи. Металл не влияет на спектр внешней ПМСВ с $k < 0$. Рассмотрим спектр ПМСВ с $k > 0$. Из рис. 1, *a* видно, что в первой структуре при $b_{-1} = \infty$ металл влияет на спектр как внешней, так и внутренней ПМСВ; его влияние на дисперсию внешней ПМСВ значительно, чем на дисперсию внутренней ПМСВ. Дисперсионные кривые для внешних ПМСВ по сравнению с таковыми в м—д—ф структурах идут плавнее.³ Дисперсионные кривые для внутренних ПМСВ существенно отличаются от таковых в ДФП [1, 2]: они идут при малых k значительно круче, на них резко подчеркиваются точки максимумов и при достаточно больших b_1 появляется минимум. Влияние металла на спектр внутренних ПМСВ с $k > 0$ тем сильнее, чем меньше намагниченность насыщения верхнего феррита. Металл при малых b_1 существенно уменьшает незначительность распространения ПМСВ в диапазоне частот $\omega_{V, -1} < \omega < \omega_{S, -1}$.

Из рис. 1, *b* видно, что во второй структуре металл влияет практически только на дисперсию той ПМСВ, которая стала внешней волной из-за резонанса внешней и внутренней волн. Дисперсионная зависимость этой внешней ПМСВ не похожа на таковую в м—д—ф структуре [10]: при $b_1 = 0$ она имеет максимум и плоский участок при $k > 1500 \text{ см}^{-1}$, не совпадают частотные диапазоны существования указанных ПМСВ. Дисперсионная зависимость внутренней ПМСВ слабо отличается от таковой в ДФП [1, 2].

Из рис. 1, *e* видно, что в третьей структуре спектр ПМСВ особенно сложен, хотя и является переходным между представленным на рис. 1, *a* и *b*. Особенность состоит в том, что в зависимости от величины b_1 может существовать один (сплошная кривая 1), два (сплошные кривые 2, 3) или ни одного резонанса внешней и внутренней волн (сплошные кривые 4, 5). Вследствие этого спектр ПМСВ существенно отличается от такового как в м—д—ф структуре [10], так в ДФП [1, 2]. Влияние металла при изменении b_1 на дисперсию той ПМСВ, которая стала внешней волной из-за резонанса внешней и внутренней волн, значительно, чем на дисперсию той ПМСВ, которая стала внутренней волной из-за резонанса внешней и внутренней волн. Дисперсионные зависимости внешней ПМСВ при различных b_1 качественно похожи на показанные на рис. 1, *b*, хотя при больших k они спадают быстрее. Спектр внутренней ПМСВ не имеет аналогов в известных структурах, если b_1 конечно.

³ Это обусловлено расталкиванием ветвей внешней и внутренней ПМСВ (относительно парциальных) в ДФП [1, 2] и тем, какой (верхней при $k < 0$ или нижней при $k > 0$) ветвью спектра является внешняя ПМСВ.

3. Спектр ПМСВ в м-д-ф-ф-д-м структуре

Для исследования спектра ПМСВ в м-д-ф-ф-д-м структуре необходимо прежде всего найти корни дисперсионного уравнения (1). При $k=0$ они определяются из биквадратного относительно ω уравнения

$$(d_1\mu_{\pm, 1} + b_1) + (d_{-1}\mu_{\pm, -1} + b_{-1}) = 0. \quad (10)$$

Явное выражение для его корней очень громоздко. Однако легко видеть, что эти корни зависят от толщины всех слоев структуры и намагниченности насыщения обоих ферритов и больше, чем $\omega_{r, \pm 1}$.

Корни уравнения (1) при $k \rightarrow \pm \infty$ остаются такими же, как при $b_{-1} = \infty$ и при $b_1 = \infty$. Это означает, что спектры ПМСВ в м-д-ф-ф-д-м структуре существенно отличаются от описанных выше в разделе 2. Прежде всего при $k=0$ каждая ветвь ПМСВ исходит из своей точки, определяемой уравнением (10), а не из точек $\omega = \omega_{r, \pm 1}$, как в разделе 2. Частота ПМСВ при $k=0$ может оказаться больше, чем частота ПМСВ при $|k| \rightarrow \infty$, что меняет характер дисперсии ПМСВ. Однако условия резонанса связанных внешней и внутренней ПМСВ остаются такими же (см. (8)), как в м-д-ф-ф структуре.

На рис. 2, а-в приведены зависимости частоты ПМСВ ω от ее волнового числа k в трех перечисленных выше м-д-ф-ф-д-м структурах при различных b_1 и b_{-1} . Видно, что $b_1 = b_{-1}$ ветви ПМСВ являются комбинацией ветвей с $b_1 = 0$, $b_{-1} = \text{var}$ при $k < 0$ и с $b_{-1} = 0$, $b_1 = \text{var}$ при $k > 0$, причем при $-1000 < k < 1000 \text{ см}^{-1}$ происходит плавный переход с ветви при $b_1 = 0$, $b_{-1} = c_0$ ($c_0 = \text{const}$) на ветвь при $b_{-1} = 0$, $b_1 = c_0$ (пунктирные кривые 2'', 3''). Поэтому сосредоточим анализ на случаях $b_{-1} = 0$, $b_1 = \text{var}$ и $b_1 = 0$, $b_{-1} = \text{var}$.

Из рис. 2, а-в следует, что спектр ПМСВ в м-д-ф-ф-д-м структуре качественно похож на сумму спектров ПМСВ в м-д-ф-д-м структуре [11] и ДФП [1, 2].

Рассмотрим спектр ПМСВ в структуре с металлизацией нижнего феррита ($b_{-1} = 0$; сплошные кривые на рис. 2, а-в). В первой структуре (рис. 2, а) спектр внешней ПМСВ с $k < 0$ качественно похож на таковой в м-д-ф-м структуре [11], а внешней ПМСВ с $k > 0$ — на таковой в м-д-ф структуре [10]. Спектр внутренней ПМСВ не похож на спектр в ДФП [1, 2]: она всегда является обратной волной при малых b_1 и комбинацией обратной и прямой волн при достаточно больших b_1 . При $k=0$ происходит плавный переход внешних волн во внутренние и наоборот.

Во второй структуре (рис. 2, б) влияние металла при различных b_1 сказывается в основном на спектре той ПМСВ с $k > 0$, которая стала внешней волной из-за резонанса внешней и внутренней волн. Эта внешняя ПМСВ всегда является обратной волной и не похожа на внешние ПМСВ в известных структурах. Внешняя ПМСВ при $k < 0$ всегда является прямой волной. Внутренняя ПМСВ является прямой волной при $k > 0$ и обратной при $k < 0$ и не чувствует металла. При $k=0$ внешние волны переходят во внешние и внутренние — во внутренние.

В третьей структуре (рис. 2, в) спектр внешних ПМСВ качественно похож на спектр во второй структуре (рис. 2, б). Спектр внутренних ПМСВ качественно похож на таковой в м-д-ф-ф структуре (рис. 1, б), хотя дисперсионные зависимости для них более плавные (из-за особенностей при малых k).

Рассмотрим спектр ПМСВ в структуре с металлизацией верхнего феррита ($b_1 = 0$, рис. 2, а-в, штриховые кривые, а там, где они сливаются со сплошными, сплошные кривые с цифрами со штрихом). Из рис. 2, б, в видно, что в этом случае во второй и третьей структурах для ПМСВ с $k > 0$ всегда существует резонанс внешней и внутренней волн. При заданных значениях b_{-1} влияние нижнего металла с увеличением намагниченности верхнего феррита на дисперсию внешней ПМСВ возрастает, а на дисперсию внутренней ПМСВ падает. Переходы волн при $k=0$ такие же, как и в структуре с металлизацией нижнего феррита. В первой структуре изменение b_{-1} формирует причудливый закон дисперсии внешней ПМСВ с $k < 0$: при $b_{-1} = 0$ внешняя ПМСВ является прямой волной; с увеличением b_{-1} в пределах $0 < b_{-1} < d_1$ появляется (при больших $|k|$) и растет (в сторону меньших $|k|$) участок значений $|k|$, где ПМСВ является

обратной волной; при $b_{-1} \approx d_1$ внешняя ПМСВ становится обратной волной; при $b_{-1} > d_1$ при больших $|k|$ появляется и растет (в сторону меньших $|k|$) участок значений $|k|$, где ПМСВ является прямой волной; при $b_{-1} \rightarrow \infty$ внешняя ПМСВ становится при всех $|k|$ прямой волной.

Полученные результаты имеют не только физическое, но и практическое значение. Действительно, зная, что затухание ПМСВ обратно пропорционально их групповой скорости, из рис. 1, 2 можно определить, в каких интервалах изменения ω и k возбуждаются те или иные ПМСВ. Это позволяет, например, легко объяснить закономерность дисперсионных свойств линий задержки, описанных в [8], и, более того, целенаправленно и грамотно реализовать любые дисперсионные характеристики этих линий.

Выводы

Впервые показано, что в слоистых м—д—ф—ф и м—д—ф—ф—д—м структурах лишь при одном направлении распространения ПМСВ спектр ПМСВ качественно похож на аналогичный в м—д—ф и м—д—ф—д—м структурах, а при противоположном направлении распространения ПМСВ существуют три различных типа спектров ПМСВ: первый — без резонанса внешней и внутренней волн, второй — когда этот резонанс обусловлен тем же соотношением намагниченностей насыщения ферритов, что и в ДФП, третий — ранее неизвестный — когда указанный резонанс в м—ф—ф—м структуре обусловлен соотношением намагниченностей, отличным от такового в ДФП, и наличием лишь одного из металлов. В спектре ПМСВ третьего типа в м—д—ф—ф—д—м структуре число резонансов внешней и внутренней волн колеблется от нуля до двух в зависимости от толщины соответствующего диэлектрика. Только первый тип спектра ПМСВ качественно похож на таковой в м—д—ф и м—д—ф—д—м структурах или в ДФП, хотя и он имеет существенную особенность: только в этом случае значительно влияние металла на дисперсию внутренней ПМСВ, когда металл расположен над ферритом с меньшей намагниченностью насыщения, а разность намагниченностей ферритов велика. Два остальных типа спектров ПМСВ имеют существенные отличия: для м—ф—ф структур дисперсионная зависимость внешней ПМСВ имеет максимум, а для м—д—ф—ф структур спектр внешней ПМСВ меняется в зависимости от толщины диэлектрика в большем диапазоне частот, чем в известных структурах. Влияние металла на спектр ПМСВ максимально для внешней ПМСВ, распространяющейся по ближайшей к металлу поверхности раздела слоев (независимо от того, была ли эта ПМСВ внешней всегда или стала ею из-за резонанса внешней и внутренней волн), и убывает с удалением от металла указанной поверхности распространения. Изучена трансформация спектра ПМСВ в зависимости от толщины диэлектриков, что позволяет судить о возможности управления спектром ПМСВ с помощью металла. Авторы признательны Ю. И. Беспятым и А. В. Вашковскому за плодотворное обсуждение полученных результатов.

Список литературы

- [1] Беспятых Ю. И., Зубков В. И. // ЖТФ. 1975. Т. 45. Вып. 11. С. 2386—2394.
- [2] Зубков В. И., Епанечников В. А. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 23. С. 1419—1423.
- [3] Зубков В. И., Епанечников В. А. // РИЭ. 1986. Т. 31. № 4. С. 658—665.
- [4] Зубков В. И., Епанечников В. А. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 4. С. 625—633.
- [5] Вашковский А. В., Стальмахов А. В. // РИЭ. 1984. Т. 29. № 5. С. 901—907.
- [6] Берегов А. С. // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1983. Т. 26. № 1. С. 36—42.
- [7] Стальмахов В. С., Гречушкин К. В. // РИЭ. 1983. Т. 28. № 3. С. 421—426.
- [8] Вапна Г. М. // Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1984. № 8 (1060). С. 20—23.
- [9] Van de Vaart H. // Electron. Lett. 1970. Vol. 6. N 19. P. 601—602.
- [10] Беспятых Ю. И., Вашковский А. В., Зубков В. И. // РИЭ. 1975. Т. 20. № 5. С. 1003—1008.
- [11] Yukaва T., Yamada J., Abe K., Ikenoue J. // Jap. J. Appl. Phys. 1977. Vol. 16. N 12. P. 2187—2196.