

05

Бездисперсионная линия задержки на магнитостатических волнах

© С.Л. Высоцкий, Г.Т. Казаков, А.В. Кожевников, С.А. Никитов,
А.В. Романов, Ю.А. Филимонов

Саратовский филиал института радиотехники и электроники РАН
E-mail: info@soire.renet.ru

Поступило в Редакцию 30 января 2006 г.

Предложен новый подход к конструированию бездисперсионной двухкаскадной линии задержки на магнитостатических волнах. Каскады на поверхностных и обратных объемных волнах имеют общую полосу пропускания в одной магнитной системе за счет различия в кристаллографической ориентации вырезанных из пленки железоиттриевого граната $\{100\}$ ферритовых волноводов. Экспериментально показана возможность получения времени задержки импульса 113 ± 3 ns в полосе частот 300 MHz. Центральная частота указанной полосы может перестраиваться внешним магнитным полем в пределах 4–6 GHz.

PACS: 41.20.Jb, 84.40.Az

Бездисперсионные линии задержки на основе магнитостатических волн, распространяющихся в намагниченных внешним постоянным магнитным полем H_0 пленках железоиттриевого граната, перспективны для применения в современных радиолокационных и телекоммуникационных системах [1]. Известен ряд способов управления дисперсионной зависимостью магнитостатических волн, обеспечивающих постоянную величину времени задержки сигнала τ в некоторой полосе частот, таких как: размещение у поверхности пленки металлических экранов [2–4], использование нескольких ферритовых пленок, разделенных диэлектрическими слоями [5], применение неоднородных подмагничивающих полей [6,7] или формирование на поверхности пленки системы металлических полосковых отражательных решеток с плавно меняющимся периодом [8]. Еще одним подходом к решению этой задачи является последовательное включение двух линий задержки на магнитостатических волнах, частотные зависимости $\tau(f)$ в которых имеют противоположный характер. Так, в [9] сообщалось о линии задержки на

прямых объемных магнитостатических волнах, использующей перенос рабочей частоты второго каскада в нужную область дисперсионной зависимости с помощью гетеродинамирования и последующим обратным преобразованием. Двухкаскадные линии задержки могут также использоваться в одном каскаде волны с отрицательной дисперсией — обратные объемные магнитостатические волны, а в другом — волны с положительной дисперсией — поверхностные или прямые объемные [10–12]. При этом для обеспечения полосы перекрытия рабочих частот каскадов ΔF применяются две отдельные магнитные системы.

В данной работе предлагается подход к построению бездисперсионной двухкаскадной линии задержки на магнитостатических волнах, основанный на использовании анизотропных свойств пленки феррита и обеспечивающий, в отличие от [10–12], применение одной магнитной системы. Продемонстрируем эту возможность на примере касательно намагниченной пленки железиттриевого граната. Известно [13], что в этом случае возможно распространение поверхностных магнитостатических волн с волновым вектором $\mathbf{q} \perp \mathbf{H}_0$ и обратных объемных магнитостатических волн с $\mathbf{q} \parallel \mathbf{H}_0$, при этом области частот их существования разделяет частота $f_0 = \gamma \sqrt{\mathbf{H}_{in}(\mathbf{H}_{in} + 4\pi M_0)}$, где $\mathbf{H}_{in} = \mathbf{H}_0 + \mathbf{H}_a$ — внутреннее магнитное поле, \mathbf{H}_a — поле кристаллографической анизотропии, $4\pi M_0$ — намагниченность насыщения феррита, $\gamma = 2.8 \text{ МГц/Ое}$. При изменении угла θ между \mathbf{H}_0 и неким кристаллографическим направлением в плоскости пленки частота f_0 осциллирует вследствие зависимости от угла θ величины поля \mathbf{H}_a [14]. Пусть θ_1 и θ_2 — углы, отвечающие соответственно минимуму и максимуму зависимости $f_0(\theta)$. Тогда при использовании в первом каскаде линии задержки поверхностных магнитостатических волн в пленке, намагниченной в направлении θ_1 , а во втором — обратных объемных магнитостатических волн в пленке, намагниченной в направлении θ_2 , можно обеспечить величину $\Delta F = f_0(\theta_2) - f_0(\theta_1)$.

В пленках железиттриевого граната обычно применяемой кристаллографической ориентации $\{111\}$ Δf_0 не превышает 5 МГц при $f_0 \approx 5 \text{ GHz}$ [14]. В то же время в пленках кристаллографической ориентации $\{100\}$ величина Δf_0 может быть гораздо больше. На рис. 1 слева от оси частот изображена полученная при $H_0 = 980 \text{ Ое}$ зависимость $f_0(\theta)$ для пленки железиттриевого граната $\{100\}$ толщиной $16.3 \mu\text{m}$, $4\pi M_0 = 1750 \text{ Gs}$, из которой видно, что $\Delta f_0 \sim 350\text{--}400 \text{ МГц}$. Таким образом, используя в первом каскаде поверхностные магнитостатические

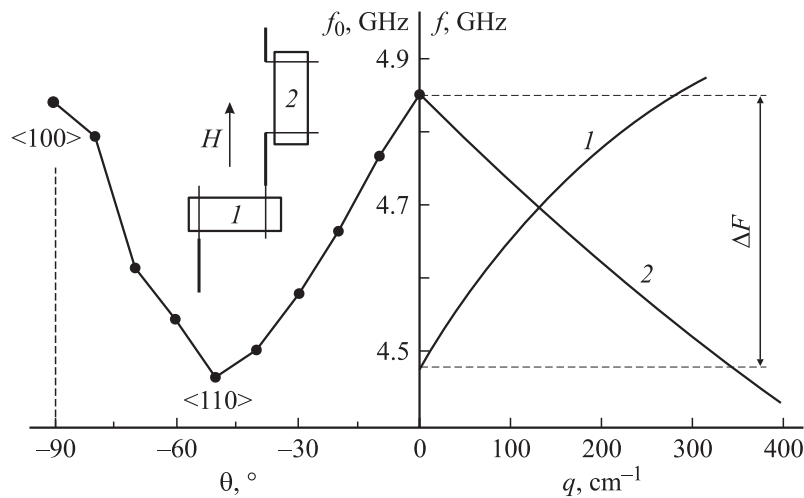


Рис. 1. Зависимость $f_0(\theta)$ и дисперсионные зависимости поверхностных и обратных объемных магнитостатических волн.

волны в пленке $\{100\}$, намагниченной вдоль кристаллографического направления $\langle 110 \rangle$ (кривая 1 на рис. 1), а во втором — обратные объемные волны при намагничивании в направлении $\langle 100 \rangle$ (кривая 2 на рис. 1), можно обеспечить величину $\Delta F \sim 350\text{--}400$ MHz при одной величине внешнего поля H_0 .

Для экспериментальных исследований был изготовлен макет двухкаскадной линии задержки, схематически изображенный на вставке к рис. 1. Ферритовые волноводы 1 и 2 располагались на микрополосковых преобразователях шириной $40\ \mu\text{m}$, расстояния между которыми выбирались с учетом дисперсии поверхностных и обратных объемных магнитостатических волн и составляли 4 mm в первом каскаде и 4.6 mm во втором. Макет помещался в зазор электромагнита. Амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики исследовались с помощью измерителя разности фаз и ослабления ФК2-18 по стандартной методике включения макета в разрыв измерительного тракта. При проведении прямых измерений времени задержки импульс длительностью 20 ns после прохождения по линии задержки усиливался, детектировался и наблюдался на экране двухлучевого осциллографа, на второй вход

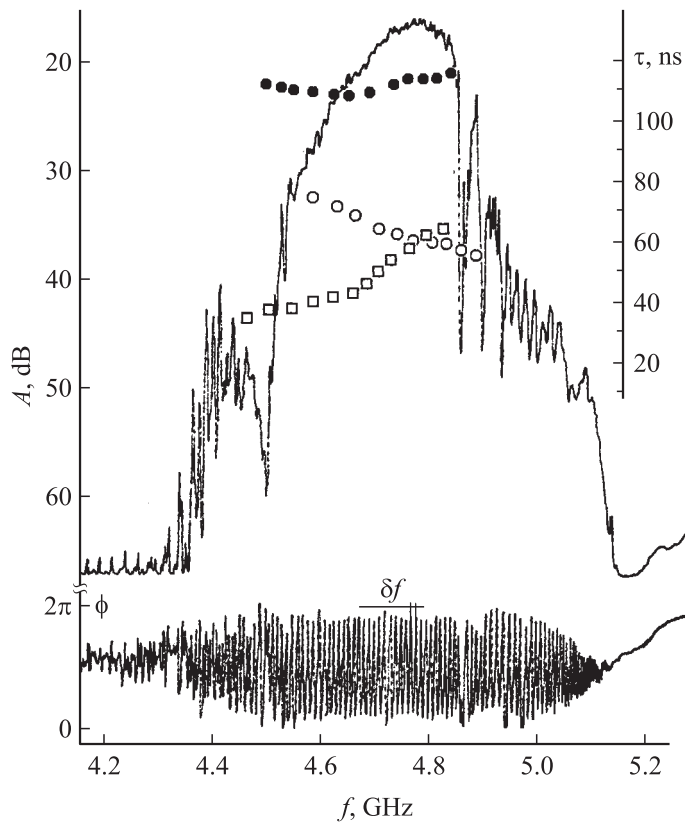


Рис. 2. Амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики двухкаскадной линии задержки и зависимости времени задержки импульса от частоты.

которого поступал опорный сигнал, полученный с помощью детектирования импульса с выхода направленного ответвителя, включенного перед входом линии задержки.

На рис. 2 квадратами и светлыми кружками представлены соответственно частотные зависимости времени задержки каскадов на поверхностных и обратных объемных магнитостатических волнах. Видно, что зависимости в каскадах имеют противоположный характер. Из

амплитудно-частотной характеристики двухкаскадной линии (рис. 2) видно, что величина ΔF превышает 300 МГц, при этом в интервале частот 4500–4800 МГц разница частот δf , отвечающая соседним минимумам (максимумам) фазочастотной характеристики, практически не меняется, что свидетельствует о слабой дисперсии сигнала. Результаты измерений времени задержки в двухкаскадной линии представлены на рис. 2 черными кружками. Видно, что $\tau(f) = 113 \pm 3$ ns в полосе частот 300 МГц при величине ослабления A не более 30 dB и неравномерности уровня пропускания ΔA порядка 14 dB. При перестройке внешнего постоянного магнитного поля центральная частота полосы изменялась от 4 до 6 ГГц с увеличением вносимых потерь до 35 dB в интервале 5.5–6 ГГц. Заметим, что при изменении кристаллографической ориентации одного из волноводов удавалось добиться меньшей величины ΔA за счет сужения полосы пропускания, например $\Delta A \sim 3$ dB в полосе 200 МГц при сохранении величины времени задержки.

Таким образом, предложен новый подход к конструированию бездисперсионной двухкаскадной линии задержки на магнитостатических волнах, основанный на использовании анизотропных свойств касательно намагниченной ферритовой пленки. Применение в каскадах на поверхностных и обратных объемных волнах ферритовых волноводов, вырезанных из пленки железиттриевого граната $\{100\}$ вдоль кристаллографических направлений $\langle 110 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$ соответственно, обеспечивает в одной магнитной системе полосу пропускания 300 МГц при величине времени задержки импульса 113 ± 3 ns. Центральная частота указанной полосы может перестраиваться внешним магнитным полем в пределах 4–6 ГГц.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 04-02-17537 и 06-07-89341.

Список литературы

- [1] Ваннэ Г.М. // Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ. В. 8 (1060). М.: ЦНИИ „Электроника“, 1984.
- [2] Adam J.D. // IEEE MTT-S Digest. 1984. P. 87–88.
- [3] Ishak W.S. // IEEE Trans. Magn. V. MAG-19. 1983. P. 1880–1882.
- [4] Bajpai S.N. // Electronic letters. 1984. V. 20. N 19. P. 783–784.
- [5] Парекх Дж., Чжан К.У. // ТИИЭР. 1983. Т. 71. № 5. С. 167–168.

- [6] *Morgentaler F.R.* // Proc. RADC Microwave Magnetics Workshop. 1981. P. 133–156.
- [7] *Tsutsumi M., Masaoka Y., Ohira T.* et al. // Proc. Of International Conf. On Ferrites. 1980. P. 847–850.
- [8] *Owens J.M., Smyth C.V., Mearsil Y.J.* // IEEE MTT-S Dig. 1979. P. 154–156.
- [9] *De Gasperis P., Miccoli G., Di Gregorio C.* // Electronics Letters. 1986. V. 22. N 20. P. 1065–1066.
- [10] *Sethares J.C., Owens J.M., Smyth C.V.* // Electronics Letters. 1980. V. 16. N 22. P. 825–826.
- [11] *Adkins L.R.* // J. Appl. Phys. 1984. V. 58. N 6. P. 2518–2520.
- [12] *Daniel M.R., Adam J.D.* // Proc. RADC Microwave Magnetics Workshop. 1981. P. 157–168.
- [13] *Гуревич А.Г., Мелков Г.А.* Магнитные колебания и волны. М., 1994. 464 с.
- [14] *Чивилева О.А., Гуревич А.Г., Эмирян Л.М.* // ФТТ. 1987. Т. 29. В. 1. С. 110–115.