

Влияние большого сигнала на характеристики малого сигнала в резонансной линии передачи на магнитостатических волнах

© С.В. Гришин,¹ Я.Е. Нудельман,² Ю.П. Шараевский¹

¹ Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, 410012 Саратов, Россия

² Научно-производственный центр „Алмаз-Фазотрон“, 410033 Саратов, Россия

e-mail: sharaevskyy@info.sgu.ru, grishfam@sgu.ru

(Поступило в Редакцию 26 октября 2006 г.)

На основе результатов экспериментального исследования обсуждаются особенности влияния большого сигнала на характеристики малого сигнала вблизи частоты большого при их одновременном прохождении через резонансную линию передачи на обратных объемных магнитостатических волнах. Наблюдаемые при этом эффекты связаны с особенностями возбуждения спиновых волн в ферромагнитной пленке при различных значениях частоты большого сигнала и с обратным влиянием возбужденных спин-волновых пакетов на амплитудные и фазовые характеристики малого сигнала.

PACS: 41.20.Jb, 75.30.Ds

Известно, что нелинейный эффект, связанный с параметрическим возбуждением спиновых и магнитостатических волн (МСВ) в ферромагнитных пленках, лежит в основе работы нелинейных устройств, в частности шумоподавителей и ограничителей мощности [1–3]. Традиционно в схемах таких устройств для возбуждения МСВ используется микрополосковая линия передачи [4–6]. В указанных работах экспериментально исследовались особенности, возникающие при прохождении через микрополосковую линию передачи, нагруженную на ферромагнитную пленку, двух сигналов разного уровня мощности (большой и малой амплитуды). При этом основное внимание уделялось изучению эффектов, связанных с влиянием большого сигнала на амплитудные характеристики малого сигнала, когда в роли волны накачки выступает либо МСВ в пленке (шумоподаватель [4,5]), либо электромагнитная волна в линии (ограничитель мощности [6]).

В работах авторов [7,8] на основе экспериментальных результатов были рассмотрены особенности нелинейных характеристик системы „микрополосковый резонатор–ферромагнитная пленка“ при возбуждении обратных объемных МСВ (ООМСВ).¹ Показано, что в такой системе в зависимости от значения частоты большого сигнала возбуждение спин-волновых пакетов может осуществляться как МСВ накачки, так и электромагнитной волной накачки.

В настоящей работе впервые приводятся результаты экспериментального исследования влияния спин-волновых пакетов, возбужденных в ферромагнитной пленке при различных значениях частоты большого сигнала не только на амплитудные, но и на фазовые характеристики малого сигнала вблизи частоты большого.

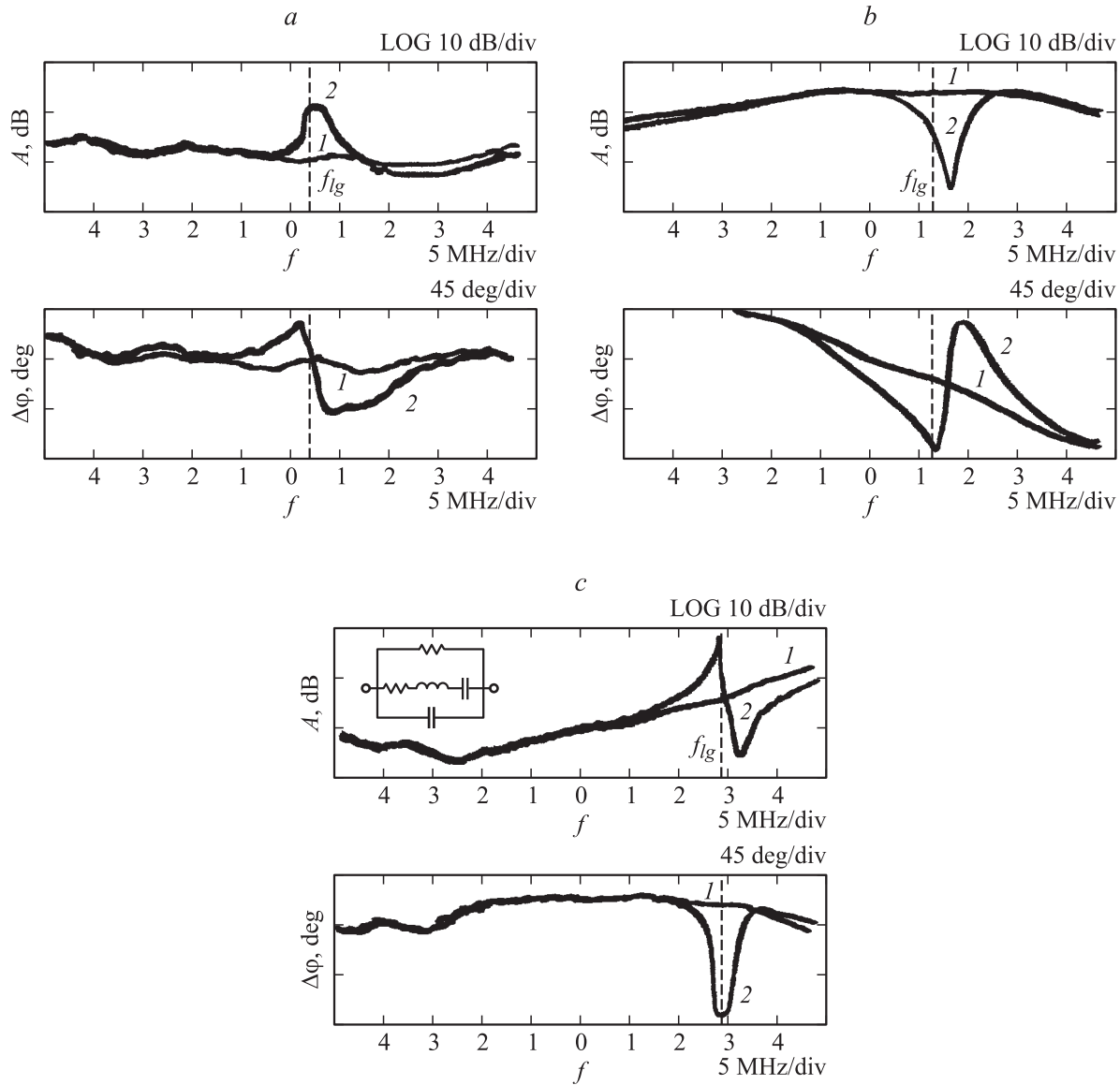
Экспериментальный макет представлял собой микрополосковый полуволновый резонатор проходного типа, вдоль поперечной оси симметрии которого располагалась пленка железо-иттриевого граната (ЖИГ).² При внешнем постоянном магнитном поле $H_0 \cong 300$ Ое, приложенном касательно к поверхности исследуемой системы и перпендикулярно микрополоске, в пленке возбуждались ООМСВ на частотах основного вида колебания резонатора.

Экспериментальное исследование изменения амплитуды и набега фазы малого сигнала, проходящего через резонансную линию передачи на ООМСВ, при его отстройке от частоты большого сигнала f_{lg} , проводилось с помощью измерителя амплитуд и разности фаз ФК2-33. Для получения свипированного по частоте малого сигнала использовался генератор качающейся частоты ГКЧ-53. Сигнал большой амплитуды формировался СВЧ-генератором Г4-79, к выходу которого был подключен транзисторный усилитель мощности с выходной мощностью насыщения ~ 300 мВт. Оба генератора были развязаны между собой ферритовыми вентилями.

На рисунке приведены экспериментальные результаты, демонстрирующие изменение амплитуды и фазы малого сигнала в двухчастотном режиме, когда частота f_{lg} соответствовала одному из трех значений частот: f_1, f_2, f_3 (см. рисунок, *a, c, b* соответственно), а частота малого сигнала f_{sm} перестраивалась вблизи этих частот. По данным работы [7], полученным в одночастотном режиме при изменении уровня мощности сигнала, частота $f_1 = 2060$ МГц соответствует максимальному уровню подавления малого сигнала относительно большого и нулевому фазовому сдвигу между сигналом большой и малой амплитуды и находится в полосе

¹ Систему „микрополосковый резонатор–ферромагнитная пленка“ при возбуждении ООМСВ условно будем называть резонансной линией передачи на ООМСВ.

² Параметры резонатора и пленки ЖИГ аналогичны описанным в [7,8].



Зависимость амплитуды и набега фазы малого сигнала, проходящего через резонансную линию передачи на ООМСВ, от его частоты в отсутствие большого сигнала (кривая 1) и в его присутствии (кривая 2) на различных частотах: а) $f_{lg} = f_1$; б) $f_{lg} = f_3$; в) $f_{lg} = f_2$. Средняя мощность большого сигнала $\tilde{P}_{lg} = 128 \text{ mW}$, малого сигнала $\tilde{P}_{sm} = 1 \mu\text{W}$.

частот возбуждения ООМСВ; частота $f_3 = 2240 \text{ MHz}$ — максимальному уровню ограничения большого сигнала и находится за полосой возбуждения ООМСВ; а частота $f_2 = 2210 \text{ MHz}$ — максимальному сдвигу набега фазы между сигналом большой и малой амплитуды и одинаковому уровню ослабления при изменении амплитуды сигнала и находится вблизи верхней границы полосы возбуждения ООМСВ ($f_1 < f_2 < f_3$).

Из представленных на рисунке результатов следует, что в случае, когда частота f_{lg} соответствует частотам f_1 или f_3 (см. рисунок, а, б), на амплитудной характеристике малого сигнала вблизи частоты f_{lg} по сравнению со случаем отсутствия большого сигнала (кривые 1) наблюдается резонансный экстремум (максимум или минимум — кривые 2). При этом вблизи

частоты, соответствующей экстремуму на амплитудной характеристике малого сигнала, наблюдается резкое изменение фазы сигнала на $\sim \pm 45\text{--}50 \text{ degree}$ (кривые 2) по сравнению со случаем отсутствия большого сигнала. Подобное поведение характеристик малого сигнала вблизи частоты большого соответствует амплитудным и фазовым характеристикам резонансной системы, например, колебательного контура — последовательного (см. рисунок, а) или параллельного (см. рисунок, б) [9].

В случае, когда $f_{lg} = f_2$ (см. рисунок, в), на амплитудной характеристике малого сигнала в двухчастотном режиме наблюдается одновременное присутствие двух экстремумов (максимума и минимума — см. кривую 2), имеющих приблизительно одинаковую величину. При

этом изменение набега фазы малого сигнала вблизи частоты f_{lg} описывается кривой с одним экстремумом и совпадает по виду с амплитудной характеристикой малого сигнала, представленной на рисунке, *b*. При отстройке частоты f_{sm} вниз или вверх по частоте от f_{lg} происходит резкое изменение набега фазы малого сигнала в присутствии большого сигнала, а при отстройках $\Delta f \sim \pm 3$ МГц изменение набега фазы малого сигнала практически не наблюдается по сравнению со случаем отсутствия большого сигнала (кривая 1). При этом экстремумы (максимум и минимум), возникающие на амплитудной характеристике малого сигнала в присутствии большого сигнала (см. кривую 2), находятся по разные стороны от частоты f_{lg} . Необходимо отметить, что в этом случае изменение амплитуды и набега фазы малого сигнала соответствует амплитудной и фазовой характеристикам системы двух связанных колебательных контуров — последовательного и параллельного, схематическое изображение которой приведено на вставке к рисунку, *c*.

Особенности в поведении амплитуды и набега фазы малого сигнала вблизи частоты f_{lg} в рассмотренных трех случаях можно объяснить существованием двух типов накачки при параметрическом возбуждении спиновых волн: магнитостатической волной в пленке и электромагнитной волной в резонаторе. В случае, когда волной накачки является ООМСВ (см. рисунок, *a*) или электромагнитная волна (см. рисунок, *b*), на амплитудной характеристике малого сигнала присутствует один резонансный экстремум, обусловленный обратным влиянием спин-волнового пакета, возбуждаемого на частоте $f_{lg}/2$ [7]. При этом, как отмечалось выше, поведение амплитудных и фазовых характеристик малого сигнала в присутствии большого можно качественно промоделировать одиночным колебательным контуром — последовательным или параллельным. Результаты, представленные в последнем случае, качественно соответствуют характеристикам двух связанных контуров (последовательного и параллельного), что позволяет говорить о влиянии на малый сигнал двух спин-волновых пакетов, возбуждаемых как магнитостатической, так и электромагнитной волнами накачки. Сделанный вывод качественно подтверждается не только характером поведения амплитудной характеристики малого сигнала, но и впервые измеренной фазовой характеристикой, имеющей интересную особенность, отмеченную на рисунке, *c*.

Полученные результаты могут также представлять интерес для построения эквивалентной схемы данной нелинейной линии передачи в двухчастотном режиме.

Работа выполнена в рамках программ Федерального агентства по науке и инновациям РФ (№ НШ-4167.2006.2), ЦНТП (грант № 2006-РИ-19.0/001/053), программы Федерального агентства по образованию РФ и АФГИР „Фундаментальные исследования и высшее образование“ (грант № Y4-P-06-02), а также при поддержке РФФИ (грант № 06-02-16451).

Список литературы

- [1] *Nomoto T., Matsushita Y.* // IEEE Trans. Microwave Theory & Tech. 1993. Vol. 41. N 8. P. 1316–1322.
- [2] *Adam J.D., Stitzer S.N.* // IEEE Trans. Microwave Theory & Tech. 1993. Vol. 41. N 12. P. 2227–2231.
- [3] *Adam J.D., Stitzer S.N.* // IEEE Trans. on Magn. 2004. Vol. 40. N 4. P. 2844–2846.
- [4] *Adam J.D., Stitzer S.N.* // J. Appl. Phys. Lett. 1980. Vol. 36. N 6. P. 485–487.
- [5] *Adam J.D.* // IEEE Trans. on Magn. 1980. Vol. MAG-16. N 5. P. 1168–1170.
- [6] *Stitzer S.N.* // IEEE Trans. on Magn. 1983. Vol. MAG-19. N 5. P. 1874–1876.
- [7] *Гришин С.В., Шараевский Ю.П.* // ЖТФ. 2006. Т. 76. Вып. 8. С. 107–114.
- [8] *Гришин С.В., Шараевский Ю.П.* // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. Вып. 2. С. 77–83.
- [9] *Гоноровский И.С.* Основы радиотехники. М.: Госиздат, 1957.