

05;12;09

## **Нелинейное подавление сверхвысокочастотных сигналов в резонансной линии передачи на магнитостатических волнах**

© С.В. Гришин, Ю.П. Шараевский

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
E-mail: sharaevskyy@info.sgu.ru

Поступило в Редакцию 15 июля 2004 г.

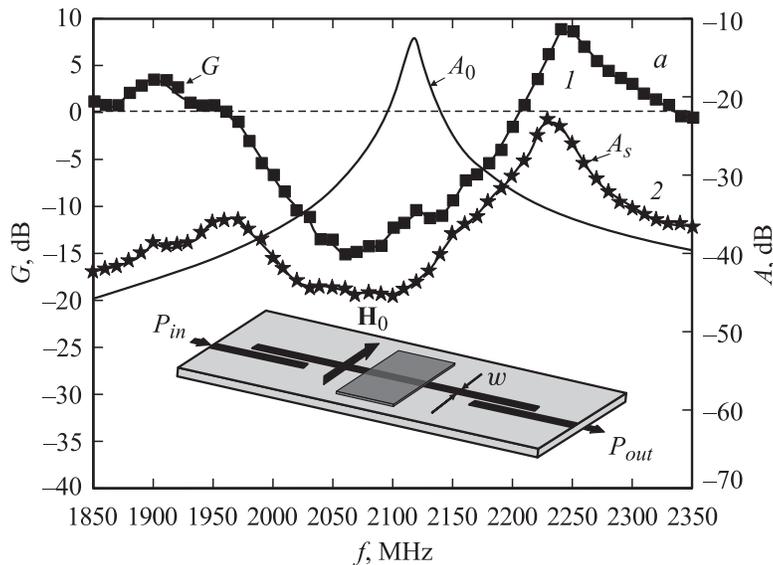
Исследованы эффекты подавления СВЧ-сигналов в резонансной линии передачи на магнитостатических волнах (МСВ), представляющей собой микрополосковый резонатор с касательно намагниченной ферромагнитной пленкой. Выявлены особенности этих эффектов по сравнению с аналогичными, наблюдаемыми в согласованной линии передачи на МСВ, в случае прохождения как одного, так и двух СВЧ-сигналов различного уровня мощности.

Известно (см., например, [1–3]), что микрополосковая линия передачи с ферромагнитной пленкой при возбуждении магнитостатических волн (МСВ) обладает уникальной характеристикой нелинейного подавления СВЧ-сигналов различного уровня мощности. В частности, сигналы с уровнем мощности выше определенного порогового значения (большие сигналы) могут ослабляться меньше, чем сигналы, уровень мощности которых ниже этого значения (малые сигналы). Данный нелинейный эффект связан с параметрическим возбуждением в ферромагнитной пленке коротковолновых спиновых волн и лежит в основе работы нелинейных СВЧ-устройств на МСВ, получивших в литературе название „усилитель отношения сигнал/шум“ или шумоподавитель [1,2,4].

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования эффектов подавления СВЧ-сигналов в нелинейной линии передачи на МСВ, в которой вместо согласованной микрополосковой линии используется микрополосковый резонатор, возбуждающий в ферромагнитной пленке обратную объемную МСВ (ОМСВ).

Экспериментальный макет (см. вставку на рис. 1, *a*) представлял собой микрополосковый полуволновый резонатор проходного типа, вдоль оси симметрии которого располагалась пленка железиттриевого граната (ЖИГ). Резонатор выполнен методом тонкопленочной фотолитографии на поликоревой подложке толщиной 0.5 mm с шириной микрополоски  $w = 0.5$  mm. Основной вид колебания микрополоскового резонатора характеризовался резонансной частотой  $f_0 = 2117$  MHz, нагруженной добротностью  $Q_L = 141$  и ослаблением на резонансной частоте  $A_0 = 12.3$  dB. Пленка ЖИГ с размерами  $6 \times 10 \times 0.04$  mm характеризовалась намагниченностью насыщения  $4\pi M_0 = 1680$  Gs и параметром потерь  $2\Delta H = 0.69$  Oe. При внешнем постоянном магнитном поле  $H_0 \cong 300$  Oe, приложенном касательно к поверхности исследуемой системы и перпендикулярно микрополоске, в пленке возбуждалась ООМСВ на частотах основного вида колебания резонатора. Амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) такой резонансной линии передачи в линейном режиме экспериментально исследованы в работе [5], где для их описания была предложена модель в виде двух связанных колебательных контуров, одним из которых является микрополосковый резонатор, а другим — пленка ЖИГ при возбуждении в ней ООМСВ.

На рис. 1 приведены зависимости величины  $G$ , характеризующей разность между значениями модулей коэффициентов передачи малого ( $A_s$ ) и большого ( $A_l$ ) сигналов ( $G = A_s - A_l$ ), от частоты  $f$ , полученные для исследуемой резонансной линии (рис. 1, *a*) и для согласованной микрополосковой линии (рис. 1, *b*). Уровень мощности малого сигнала ( $P_s = 1 \mu\text{W}$ ) соответствовал линейному режиму работы линий передачи, а уровень мощности большого сигнала ( $P_l = 128$  mW) — режиму насыщения, т.е. уровню мощности, при котором уже не происходит заметного изменения АЧХ линий. Измерение модуля коэффициента передачи выполнялось с помощью измерителя комплексных коэффициентов передачи Р4-23. Для увеличения мощности СВЧ-сигнала использовался твердотельный усилитель с коэффициентом усиления  $\sim 30$  dB и выходной мощностью насыщения 200–250 mW. Уровень мощности сигнала на входе линии контролировался с помощью измерителя мощности МЗ-51. Измерения значений комплексного коэффициента передачи при каждом уровне мощности сигнала проводились в режиме ручной установки частоты с шагом 10 MHz.



**Рис. 1.** Зависимости величины подавления СВЧ-сигналов  $G$  от частоты, полученные:  $a$  —  $1$  — для резонансной линии передачи на ООМСВ при величине перекрытия пленкой микрополоски  $l = 6$  mm;  $b$  — для согласованной линии передачи на ООМСВ:  $4$  —  $l = 6$  mm;  $3$  —  $l = 54$  mm. Пунктирной линией обозначен нулевой уровень подавления сигналов. АЧХ микрополоскового резонатора на рис. 1,  $a$ : в отсутствие пленки ЖИГ — сплошная кривая  $A_0$ ; при возбуждении в пленке ООМСВ (линейный режим) — кривая  $A_s$  (2).

Из представленных на рис. 1,  $a$  результатов следует, что зависимость  $G$  от  $f$ , полученная для резонансной линии передачи на ООМСВ (кривая  $1$ ), характеризуется наличием двух ярко выраженных областей: область частот, в которой  $G < 0$ , т.е. малый сигнал в этой области ослабляется сильнее большого, и область частот, которой соответствуют значения  $G > 0$ , т.е. большой сигнал в этой области ослабляется сильнее малого. Видно, что в первой частотной области возможно осуществление эффективного подавления малого сигнала относительно большого ( $G \sim -15$  dB), а во второй области — эффективного ограничения большого сигнала относительно малого ( $G \sim +9$  dB) при сравнительно небольшой величине перекрытия пленкой микрополоски

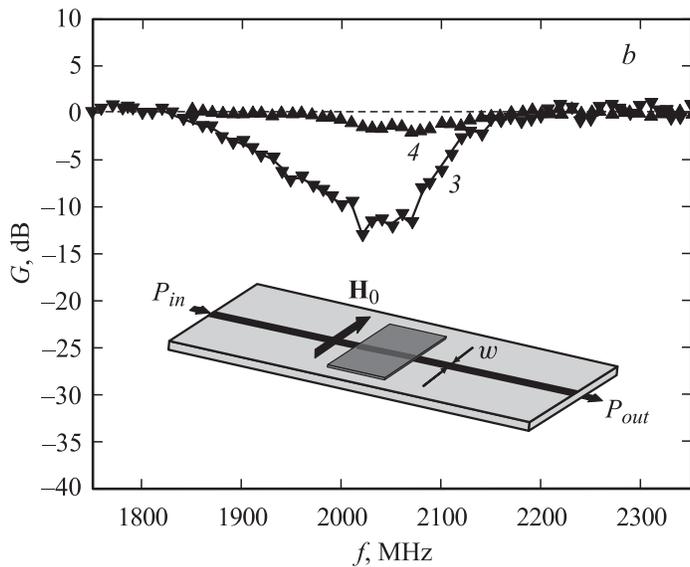
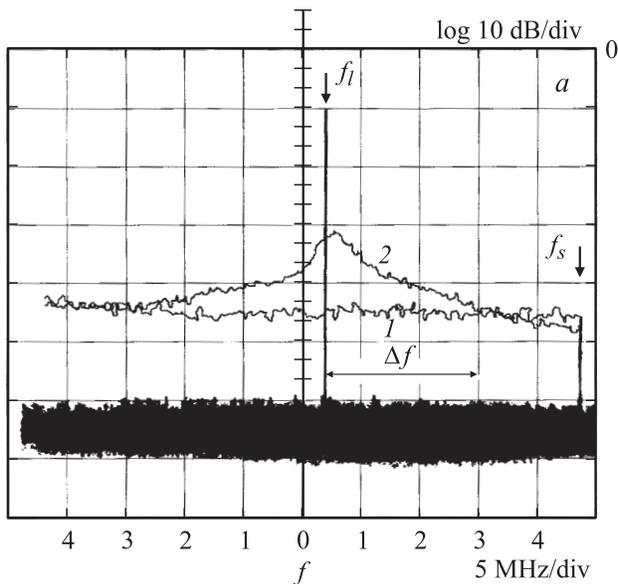


Рис. 1 (продолжение).

( $l = 6 \text{ mm}$ ). Следует отметить, что область эффективного подавления малого сигнала относительно большого лежит в полосе частот основного вида колебания микрополоскового резонатора (см. сплошную кривую на рис. 1, *a*), а области ограничения большого сигнала в основном приходятся на резонансные частоты двухконтурной системы (см. кривую 2 на рис. 1, *a*).

На рис. 1, *b* для сравнения приведены зависимости  $G$  от  $f$ , полученные при замене микрополоскового резонатора на согласованную микрополосковую линию с аналогичными размерами микрополоски ( $w = 0.5 \text{ mm}$ ). Видно, что в случае резонансной линии эффективность подавления малых сигналов гораздо выше по сравнению с согласованной линией при тех же параметрах пленки (при  $l = 6 \text{ mm}$  максимальный уровень подавления малого сигнала в последней  $G \sim -2 \text{ dB}$ ). При использовании согласованной микрополосковой линии уровень подавления малых сигналов, сравнимый с уровнем подавления в резонансной линии на ООМСВ, достигается при значительном увеличении длины



**Рис. 2.** Спектрограммы большого и малого сигналов, прошедших через резонансную линию передачи на ООМСВ при  $l = 6$  мм (а) и через согласованную линию передачи на ООМСВ при  $l = 54$  мм (б). 1 — огибающая малого сигнала в отсутствие большого сигнала; 2 — огибающая малого сигнала в присутствии большого сигнала.

перекрытия пленкой микрополоски (см. кривую 3). Отметим, что в согласованной линии на ООМСВ на данных частотах отсутствует область ограничения большого сигнала. Последняя, как было показано в [2], может существовать вблизи частотной границы параметрических процессов первого порядка.

На рис. 2 в виде спектрограмм приведены результаты экспериментального исследования одновременного прохождения двух сигналов (большого —  $P_l = 128$  мВт и малого —  $P_s = 0.5$  мВт) через резонансную и согласованную линии передачи на ООМСВ. Спектрограммы в двухсигнальном режиме были получены с помощью анализатора спектра С4-60, который позволял оценивать изменение амплитуды малого сигнала при перестройке его частоты  $f_s$  вблизи частоты большого

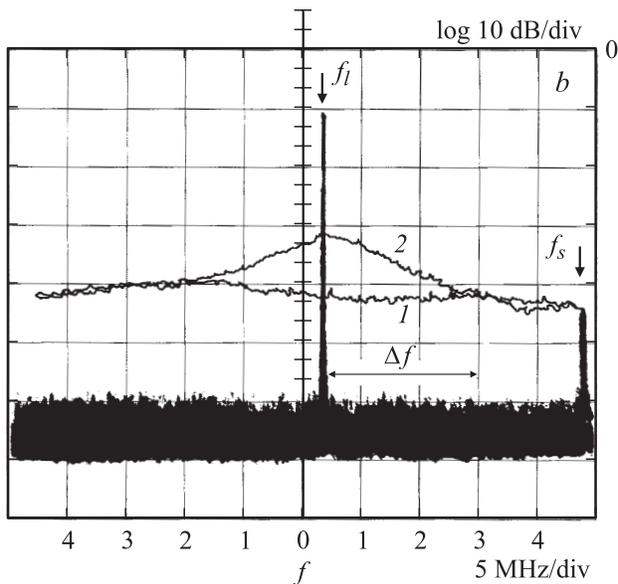


Рис. 2 (продолжение).

сигнала  $f_l$ , величина которой была фиксированной ( $f_l = 2060$  MHz). При перестройке частоты малого сигнала анализатор спектра работал в режиме запоминания, входная мощность  $P_s$  поддерживалась постоянной. Сигналы задавались с помощью двух СВЧ-генераторов Г4-79, к выходу одного из которых был подключен твердотельный усилитель.

Из представленных на рис. 2 результатов видно, что область частот, в которой большой сигнал оказывает заметное влияние на величину малого сигнала, составляет в обоих случаях величину  $\Delta f \cong 26$  MHz. Однако при использовании резонатора огибающая амплитуды малого сигнала имеет по уровню 3 dB ширину  $\Delta f_{3\text{dB}} \cong 3$  MHz (рис. 2, a), а в случае использования согласованной линии —  $\Delta f_{3\text{dB}} \cong 8.5$  MHz (рис. 2, b).

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность эффективного подавления малого сигнала относительно большого в резонансной линии передачи на обратных объемных МСВ при сравнительно небольших размерах пленки.

Работа выполнена в рамках программ Минобразования РФ „Университеты России — фундаментальные исследования“ (грант № УР.01.01.052), Минобразования РФ и CRDF (BRHE, REC-006), а также при поддержке РФФИ (грант № 04-02-16296).

## Список литературы

- [1] *Вашковский А.В., Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П.* Магнитоэлектрические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов: СГУ, 1993. 320 с.
- [2] *Adam J.D., Stitzer S.N.* // J. Appl. Phys. Lett. 1980. V. 36. N 6. P. 485–487.
- [3] *Stitzer S.N.* // IEEE Trans. on Magn. 1983. V. MAG-19. N 5. P. 1874–1876.
- [4] *Kuki T., Nomoto T.* // IEICE Trans. Electron. 1999. V. E82-C. N 4. P. 654–658.
- [5] *Гришин С.В., Гришин В.С., Гурзо В.В., Шараевский Ю.П.* // РИЭ. 2003. Т. 48. № 6. С. 724–730.