

Ковшиков Н.Г.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»

Исследование нелинейного затухания поверхностных спиновых волн двухимпульсным методом

Представлены результаты экспериментальных исследований нелинейного затухания с использованием двухимпульсного возбуждения поверхностных спиновых волн микрополосковыми преобразователями. Показано, что первичный импульс оставляет за собой зону нелинейно возбужденных коротких спиновых волн, влияющих на затухание вторичного импульса. Время релаксации этой зоны достигает 1 мкс.

Ключевые слова: Спиновые волны, нелинейное затухание, солитоны огибающей, четырехмагنونный распад, пленки железо-иттриевого граната, активные кольца, многосолитонная генерация.

Нелинейное затухание спиновых (магнитостатических) волн проявляется практически во всех экспериментах на повышенных уровнях мощности, в частности, при возбуждении и генерации солитонов огибающей спиновых волн (см., например, [1-3]), исследованиях интерферометра на спиновых волнах [4] и др. Основная причина нелинейного затухания заключается в распаде основной сравнительно длинной спиновой волны на короткие спиновые волны. Этот распад является пороговым, т.е. начинается при определенной амплитуде спиновой волны. Различают 3-х волновый распад с характерными пороговыми значениями мощности порядка 1 мкВт и 4-х волновый распад с характерными мощностями от 0,1 – 100 мВт (см., например, [5,6]). Так как развитие параметрической неустойчивости коротких спиновых волн начинается с теплового уровня, а скорость нарастания амплитуды зависит от уровня надкритичности (превышения над порогом), заметное увеличение нелинейного затухания основной волны происходит через некоторое время, которое может составлять от десятков микросекунд до единиц наносекунд. Экспериментальные исследования нелинейного затухания были выполнены в основном в непрерывном режиме с использованием 2-х и 3-х преобразователей спиновых волн [6-8]. В частности интерес представляли размеры области локализации нелинейного затухания и влияние частоты накачки на затухание сигнальной волны. В [9] методом подвижной антенны было показано, что при непрерывном возбуждении поверхностных спиновых волн нелинейное затухание происходит в малой области (менее 1,5 мм) вблизи входной антенны (эта область была названа областью возбуждения). При возбуждении спиновых волн периодическими импульсами, например, при генерации солитонных последовательностей [10], представляет интерес время восстановления области нелинейного затухания.

В данной работе была применена двухимпульсная методика для исследования времени восстановления области нелинейного затухания. На входную антенну спиновых волн подавались последовательно два одинаковых СВЧ импульса длительностью τ с интервалом T между ними, который мог регулироваться

Экспериментальная схема установки (Рис.1) включала в себя СВЧ генератор, спин-волновую линию задержки, СВЧ усилитель, СВЧ ключ, генератор импульсов, делитель мощности, детектор, осциллограф и анализатор спектра. Регистрация характеристик

прошедших сигналов в линии задержки осуществлялась с помощью широкополосного осциллографа и анализатора спектра.

Экспериментальный макет спин-волновой линии задержки представлял собой микрополосковую структуру с двумя узкими микрополосковыми антеннами-преобразователями спиновых волн шириной 30 мкм и длиной 2мм, расположенными на расстоянии 1 и 2 мм друг от друга. На антенны накладывались образцы пленок железиттриевого граната толщиной от 0,69 до 15 мкм и шириной 2 мм. Макет помещался в магнитное поле заданной величины и направления, которое создавалось электромагнитом и могло регулироваться в широких пределах.

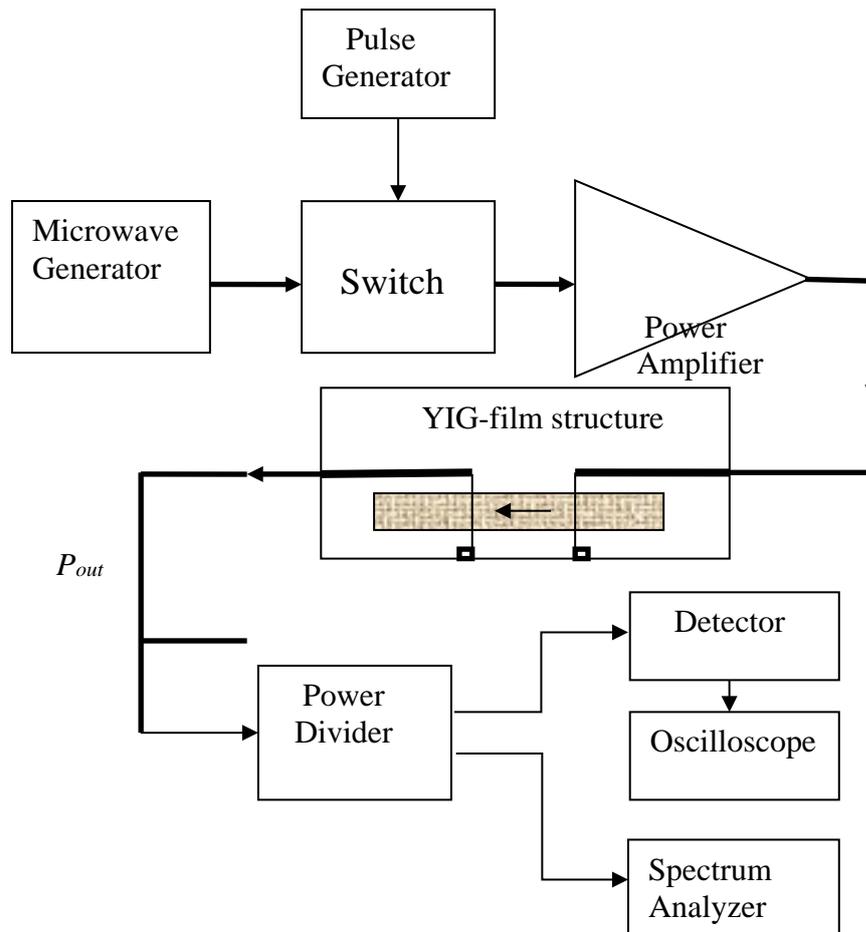


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

Непрерывный сигнал СВЧ от генератора подавался на СВЧ модулятор и далее через усилитель мощности на спинволновую линию задержки. Модулятор формировал пару импульсов СВЧ с помощью импульсного генератора. Длительность и время задержки между импульсами могло регулироваться в широких пределах. Спиновые волны возбуждались входной антенной спиновых волн, распространялись в пленке ЖИГ с групповой скоростью V_g и принимались выходной антенной. Выходные импульсы поступали на спектр анализатор, детектор и широкополосный осциллограф.

На Рис. 2. показана осциллограмма выходных импульсов при подаче двух входных импульсов с различной задержкой $T1-T6$ в линейном режиме.

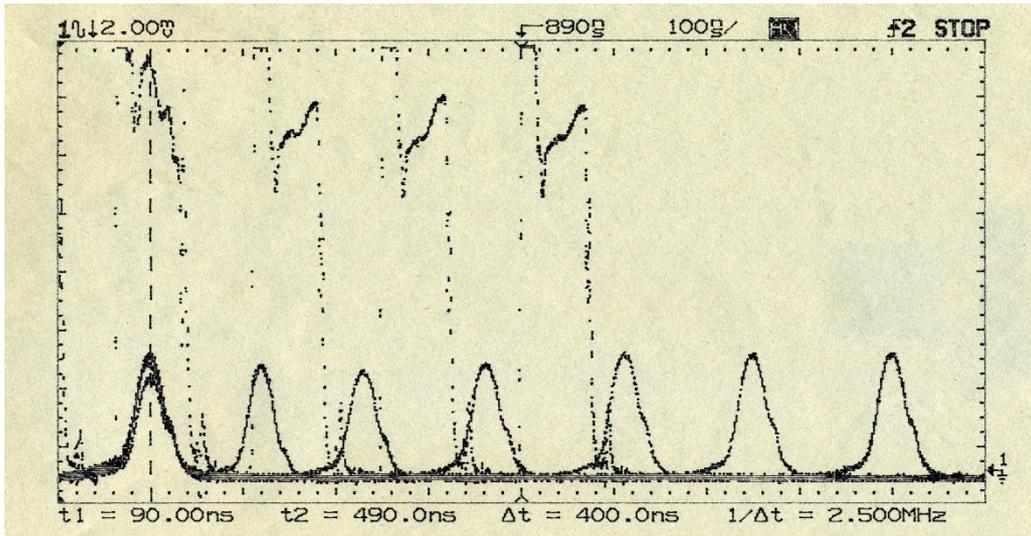


Рис. 2. Осциллограмма выходных импульсов при подаче двух входных импульсов с различной задержкой $T1-T6$ в линейном режиме.

На рис.3 показаны осциллограммы первичного и вторичных выходных импульсов $T1-T5$ при превышении порогового значения мощности на 6 дБ.

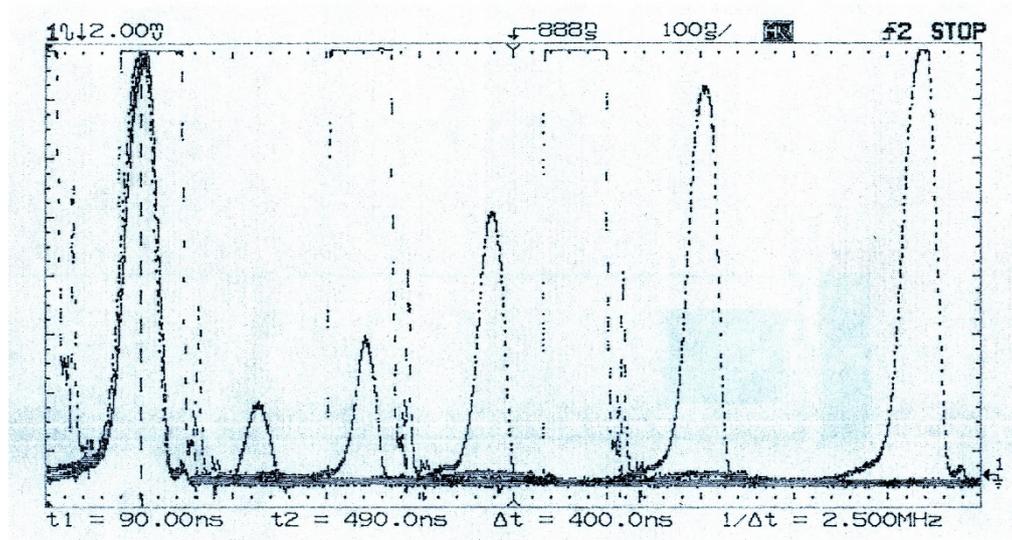


Рис.3. Осциллограммы первичного и вторичных выходных импульсов $T1-T5$ при превышении порогового значения мощности входными импульсами на 6 дБ.

Из рисунка 2 видно, что в линейном режиме вторичные импульсы имеют амплитуду и форму аналогичную первому импульсу независимо от времени задержки T . Из рисунка 3 следует, что при превышении порога вторичные импульсы испытывают затухание, которое зависит от времени подачи T после первичного импульса. При $T5=850$ нс амплитуда вторичного импульса практически равна первому. Это говорит о восстановлении области нелинейного затухания. Приведенный пример качественно объясняет уменьшение амплитуды многосолитонных последовательностей в активных кольцах при увеличении числа солитонов одновременно циркулирующих в кольце и уменьшении периода повторения [10]. Следует отметить, что динамика распространения вторичных импульсов не ограничивается только изменением амплитуды, но может сопровождаться

трансформацией формы в зависимости от длительности и мощности зондирующих импульсов, рабочей частоты, величины и направления магнитного поля и параметров пленочной структуры.

Работа поддержана Российским Научным Фондом (грант 14-12-01296-П).

Библиографический список

1. В.А.Kalinikos, N.G.Kovshikov, С.Е.Patton. Decay free microwave magnetic envelope soliton pulse trains in yttrium iron garnet thin films. *Physical Review Letters*, 1997, v.78, №14, p. 2827-2830.
2. Фетисов Ю.К., Паттон С.Е., Сыногач В.Т. Солитоны огибающей в среде с сильным нелинейным затуханием/ Письма в ЖЭТФ.2006. Т.83, №11. С.579-584.
3. М. М. Scott, С. Е. Patton, М. Р. Kostylev, В. А. Kalinikos. Nonlinear damping of high-power magnetostatic waves in yttrium-iron-garnet films. *Journal of Appl. Phys.*, Vol. 95, No 11, pp. 6294-6300 (2004).
4. Ustinov A.B., Kalinikos B.A. Ferrite-film nonlinear spin-wave interferometer and its application for power-selective suppression of pulsed microwave signals/ *Appl. Phys. Letters*, 2007. Vol., p.252510.
5. Ковшиков Н.Г., Колодин П.А., Славин А.Н. Особенности трехмагнетронного параметрического распада волн намагниченности в пленках ЖИГ при импульсном возбуждении. Письма в ЖТФ, т.15, в.1, 1989, с.37-41.
6. Г.Т.Казаков, А.В.Кожевников, Ю.А.Филимонов. Четырехмагнетронный распад поверхностных магнитостатических волн в пленках железо-иттриевого граната. ФТТ, 1997, т.39, №2, с.330-338.
7. Yu. K. Fetisov. High-Power Pump Wave Influence on the Volume Spin Wave Propagation in Ferrite Film. *Technical Physics Letters.*, Vol. 26, No. 4, 2000, pp.315-317.
8. А.В.Вашковский, В.И.Зубков, Э.Г.Локк, С.А.Никитов. Влияние СВЧ сигнала большой мощности на распространение магнитостатических волн в ферритовых пленках. ФТТ, 1988, т.30, в.3, с827-832.
9. Ковшиков Е.Н. Экспериментальное исследование нелинейного затухания поверхностных спиновых волн в пленках железо-иттриевого граната. Сборник трудов 18-й международной школы-семинара 24-28 июня 2002г., Москва, с.784-786.
10. Ковшиков Н.Г. "Многосолитонная автогенерация в активных кольцевых спин-волновых структурах. Электроника и микроэлектроника СВЧ. Сборник статей VI Всероссийской конференции, 29.05-01.06.2017, Санкт-Петербург, С. 453-456.