

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

## **Многосолитонная автогенерация в активных кольцевых спин-волновых структурах**

*Представлены результаты экспериментальных исследований многосолитонной автогенерации в активных кольцевых структурах на основе пленок железо-иттриевого граната. С помощью амплитудной модуляции кольца получены последовательности от одного до восьми солитонов огибающей спиновых волн, одновременно циркулирующих в кольце.*

**Ключевые слова:** Спиновые волны, солитоны огибающей, активные кольца, многосолитонная генерация.

Впервые автогенерация солитонов огибающей спиновых волн в активных кольцах на основе пленок железо-иттриевого граната (ЖИГ) была продемонстрирована в [1,2]. Для получения устойчивой генерации солитонов была применена амплитудная модуляция кольца с помощью СВЧ ключа. Период модуляции ключа был равен времени обращения солитона в активном кольце. При этом в активном кольце устойчиво циркулировал один солитон. При дальнейших исследованиях вместо временной (амплитудной) модуляции кольца было предложено использовать частотную фильтрацию также обеспечивающую устойчивую генерацию солитонов [3]. С помощью частотной фильтрации была получена автогенерация как односолитонных последовательностей, так и многосолитонных последовательностей, т.е. в активном кольце одновременно могли циркулировать один или несколько солитонов огибающей [4].

В данной работе показана возможность автогенерации многосолитонных последовательностей в активных кольцах при амплитудной модуляции кольца.

Экспериментальная схема активного кольца (Рис.1) включала в себя спин-волновую линию задержки, СВЧ усилитель, СВЧ ключ, переменный аттенюатор и направленные ответвители для ввода (при необходимости) и вывода сигналов циркулирующих в кольце. Регистрация характеристик автогенерируемых сигналов в кольце 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 6 мм друг от друга. На антенны накладывались образцы пленок железо-иттриевого граната толщиной от 5 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.

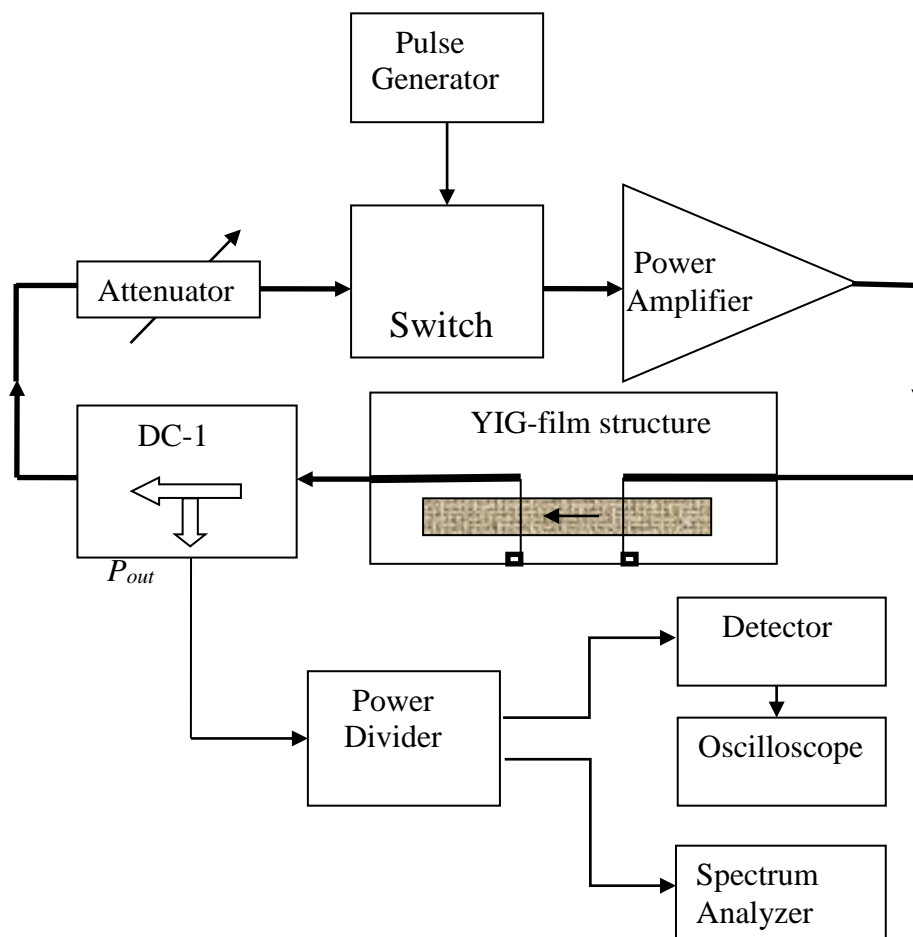


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

Спиновые волны возбуждались входной антенной спиновых волн, распространялись в пленке ЖИГ с групповой скоростью  $Vg$  и принимались выходной антенной. Затухание спиновой волны и потери преобразования компенсировались полупроводниковым усилителем СВЧ. С помощью переменного аттенюатора степень компенсации потерь (коэффициент затухания /усиления в кольце  $Gr$ ) могла регулироваться. При наличии усиления в кольце ( $Gr > 0\text{dB}$ ) на одной или нескольких резонансных частотах кольца начинается автогенерация. В результате нелинейных эффектов в спин-волновой линии задержки происходит синхронизация генерируемых мод кольца и огибающая сигнала приобретает характер импульсных последовательностей. При выполнении определенных условий огибающая каждого импульса последовательности приобретает форму соответствующую одиночному солитону огибающей. Для получения устойчивой генерации солитонных последовательностей вводилась 100% амплитудная модуляция кольца с помощью быстродействующего СВЧ ключа. Период модуляции кольца  $T_m$  выбирался кратным времени задержки в кольце  $T_k$ , т.е.  $T_k = n T_m$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ .

Эксперименты показали, что подбирая длительность открытого состояния ключа, период модуляции и коэффициент усиления кольца, можно получить устойчивую генерацию последовательностей одновременно циркулирующих в кольце  $n$  солитонов. Измерения были выполнены на обратных объемных спиновых волнах, для которых характерно формирование так называемых "светлых" солитонов огибающей. В результате изменения периода модуляции кольца удавалось получать одновременную циркуляцию в кольце от 1 до 8 солитонов. При этом длительность каждого солитона составляла около 12 нс, а время обращения солитона в кольце было около 200 нс.

На рисунке 2 показана осциллограмма циркуляции одного солитона в кольце, а рисунки 3 и 4 демонстрируют циркуляцию 2 и 5 солитонов соответственно.

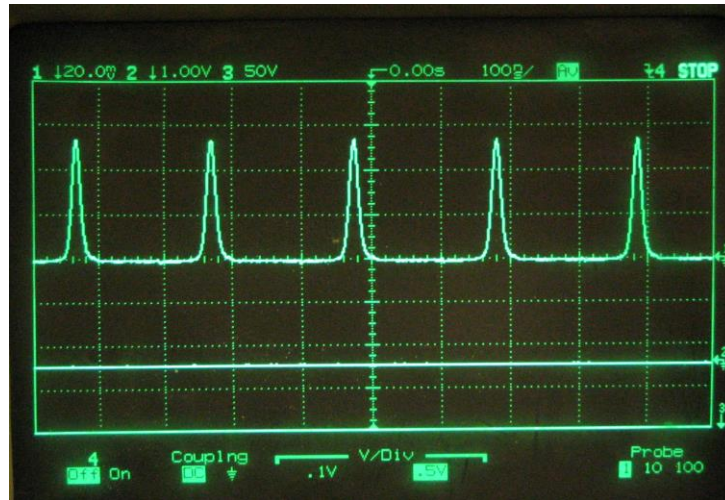


Рис. 2. Осциллограмма импульсной последовательности при циркуляции одного солитона в активном кольце.

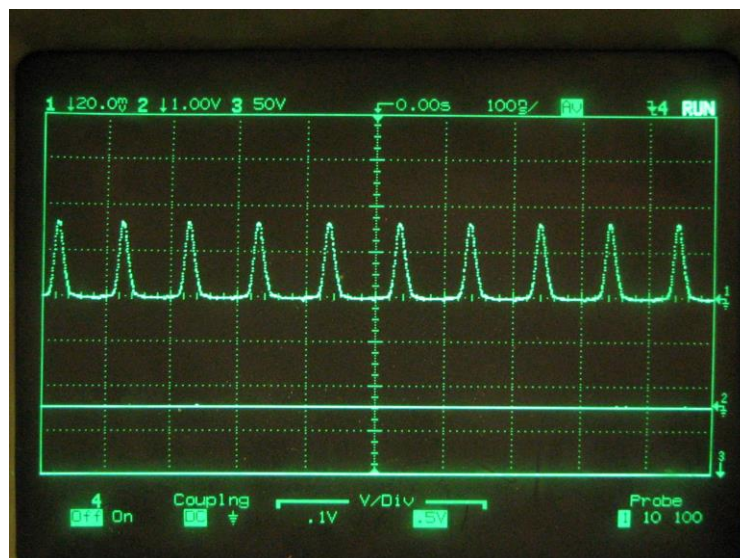


Рис. 3. Осциллограмма импульсной последовательности при циркуляции двух солитонов в активном кольце.

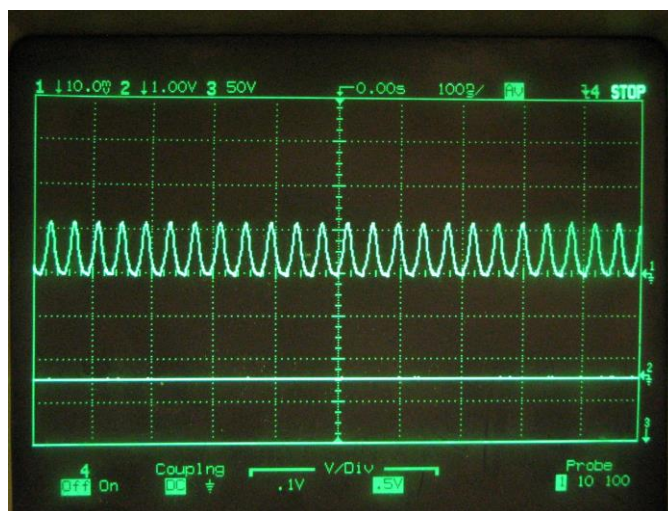


Рис. 4. Осциллограмма импульсной последовательности при циркуляции пяти солитонов в активном кольце.

Увеличение максимальной численности солитонов в кольце может быть достигнуто, например, увеличением времени задержки, т.е. увеличением расстояния между антеннами. Кроме генерации стационарных последовательностей одиночных солитонов при амплитудной модуляции кольца были получены и другие режимы генерации. Приведенные исследования показали перспективность амплитудной модуляции активных колец для генерации нелинейных импульсных последовательностей с различными характеристиками.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ (НШ-9296.2016.2)

#### Библиографический список

1. B.A.Kalnikos, N.G.Kovshikov, C.E.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. B.A.Kalnikos, N.G.Kovshikov, C.E.Patton. Self-generation of microwave magnetic envelope soliton trains in yttrium iron garnet thin films. *Physical Review Letters*, 1998, v.**80**, p. 4301.
3. M. M. Scott, B A. Kalinikos, and C E. Patton, "Self-generation of bright microwave magnetic envelope soliton trains in ferrite films through frequency filtering," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. **78**, 970 - 972 (2001).
4. B. A. Kalinikos, N. G. Kovshikov, M. P. Kostylev, and H. Benner, "Self-generation of spin-wave envelope solitons trains with different periods," *Pis'ma Zh. Eks Teor. Fiz.*, Vol. **76**, No.5, 310 – 315 (2002) [*JETP Lett.*, Vol. 76, No. 5, 253 - 257 (2002)].