

# Исследование нелинейного спин-волнового фазовращателя

Н.А. Кузнецов, А.Б. Устинов, Т.К. Легкова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

**Аннотация:** В данной работе исследовался спин-волновой нелинейный фазовращатель на плёнке железо-иттриевого граната. При проведении экспериментальных исследований рабочий СВЧ сигнал низкой мощности и СВЧ сигнал накачки высокой мощности одновременно на разных частотах возбуждали в плёнке две спиновые волны разной амплитуды. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сигнал накачки высокой мощности влияет на параметры спиновой волны малой мощности, распространяющейся в ферромагнитной плёнке.

**Ключевые слова:** спиновые волны, наведенный нелинейный сдвиг фазы, нелинейный фазовращатель

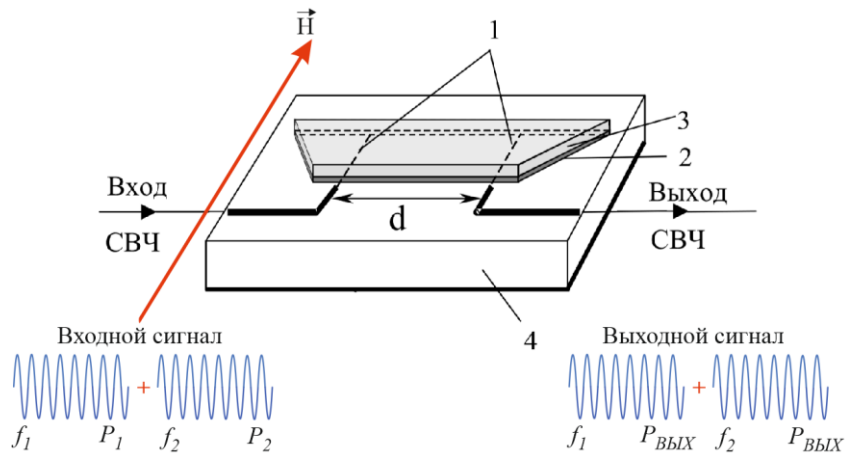
## 1. Введение

Стабильные спин-волновые (СВ) явления, такие как нелинейное затухание и нелинейный сдвиг фазы, представляют огромный интерес из-за возможности их применения для разработки новых сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств с новыми функциональными возможностями [1-3]. Обширная теория, описывающая стабильные нелинейные эффекты, возникающие при распространении одной СВ в ферромагнитной плёнке, была представлена в работах [1,2]. Однако, стабильные нелинейные эффекты, возникающие в ферромагнитной пленке при распространении двух и более СВ мало изучены. В одной из последних работ по схожей тематике исследовались нелинейные СВ эффекты в системе латеральных магнитных структур [3].

Несмотря на вышеупомянутые работы, на сколько нам известно, исследований сдвига фазы двух нелинейно связанных СВ, распространяющихся в одном ферромагнитном волноводе, ранее не было проведено. Поэтому целью данной работы является исследование характеристик нелинейного фазовращателя, работающего за счет явления нелинейного сдвига фазы маломощной рабочей волны при высокоомощной накачке, производимой на другой частоте.

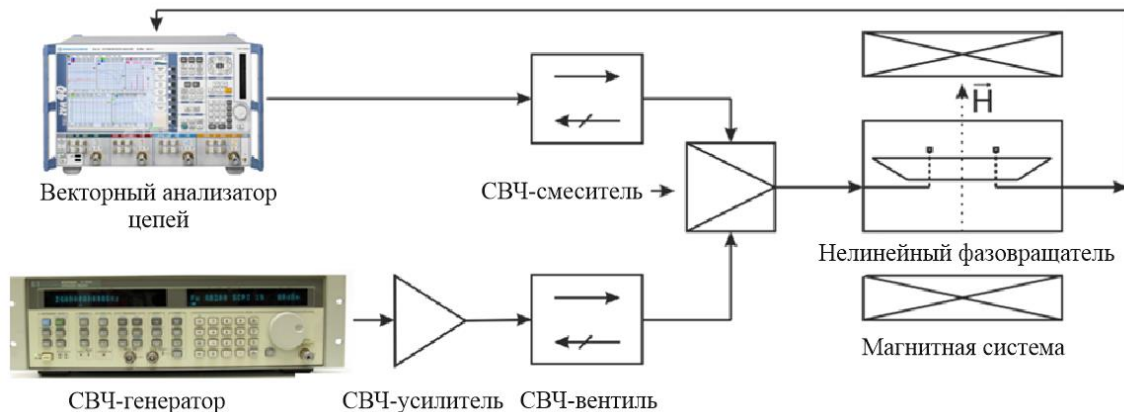
## 2. Экспериментальный макет, экспериментальная установка и методика измерений

Экспериментальный макет представлял собой СВЧ спин-волновой фазовращатель (рисунок 1). Намагничивание пленки было поперечным, т.е. вектор напряженности магнитного поля был параллелен плоскости плёнки и перпендикулярен волновому вектору возбуждаемой спиновой волны. Таким образом в ферромагнитной пленке возбуждались поверхностные спиновые волны (ПСВ). Для возбуждения и приёма СВ использовались микрополосковые антенны (1) длиной 2 мм и шириной 50 мкм. Подвод СВЧ мощности к антеннам осуществлялся микрополосковыми линиями с волновым сопротивлением 50 Ом. Все элементы были выполнены методом фотолитографии на верхней стороне подложки из поликора (4) толщиной 0.5 мм. В макете использовалась монокристаллическая плёнка железо-иттриевого граната (ЖИГ) (2), эпитаксиально выращенная на подложке гадолиний-галлиевого граната (ГГГ) (3) толщиной 0.5 мм. Расстояние между антеннами было 5 мм. Толщина ферромагнитной пленки равнялась 13.6 мкм, ширина 2 мм, длина 40 мм. Намагниченность насыщения была  $4\pi M_0 = 1750$  Гс, а линейный параметр диссипации  $\Delta H_0 \approx 0.5$  Э.



**Рисунок 1.** Экспериментальный макет нелинейного спин-волнового фазовращателя

Экспериментальная установка, представленная на рисунке 2, состоит из векторного анализатора цепей (ВАЦ), СВЧ генератора, СВЧ усилителя, вентиля, сумматора, экспериментального макета и магнитной системы. ВАЦ использовался для измерения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), СВЧ генератор и усилитель использовались для генерации сигнала накачки, СВЧ вентили для развязки экспериментального макета и источников сигнала. Сгенерированные сигналы суммировались друг с другом в сумматоре, а затем поступали на вход экспериментального макета.



**Рисунок 2.** Блок схема экспериментальной установки для исследования наведенного нелинейного фазового набега спиновых волн в ферромагнитных плёнках

Величина мощности сигнала накачки, подававшаяся непосредственно на макет, с учетом усиления и потерь в СВЧ контуре была на 9.67 дБм больше, чем на выходе генератора.

Для того чтобы исследовать влияние СВ высокой мощности на распространение маломощной СВ мы использовали следующий метод. Маломощная СВ возбуждалась СВЧ сигналом с ВАЦ (рабочий сигнал), с частотой  $f_1$  и мощностью  $P_1$ . СВ высокой мощности возбуждалась усиленным сигналом с СВЧ генератора, с частотой  $f_2$  и мощностью  $P_2$ . Затухание маломощной СВ в зависимости от мощности сигнала накачки определялось с помощью АЧХ при непрерывной накачке. Для расчета влияния мощной волны накачки на сдвиг фазы маломощной СВ мы подавали импульсный сигнал высокой мощности.

### 3. Результаты экспериментов

На рисунке 3 представлены АЧХ нелинейного фазовращателя. Данные характеристики были получены для рабочего сигнала относительно малой мощности  $P_1 = -10$  дБм. Мощность сигнала накачки  $P_2$  изменялась до 24.81 дБм. По АЧХ видно, что увеличение мощности сигнала накачки незначительно влияет на затухание маломощной СВ.

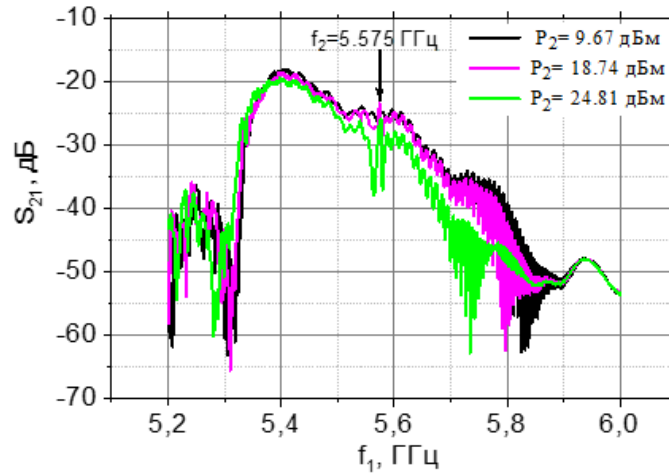


Рисунок 3. АЧХ нелинейного фазовращателя при разных мощностях сигнала накачки

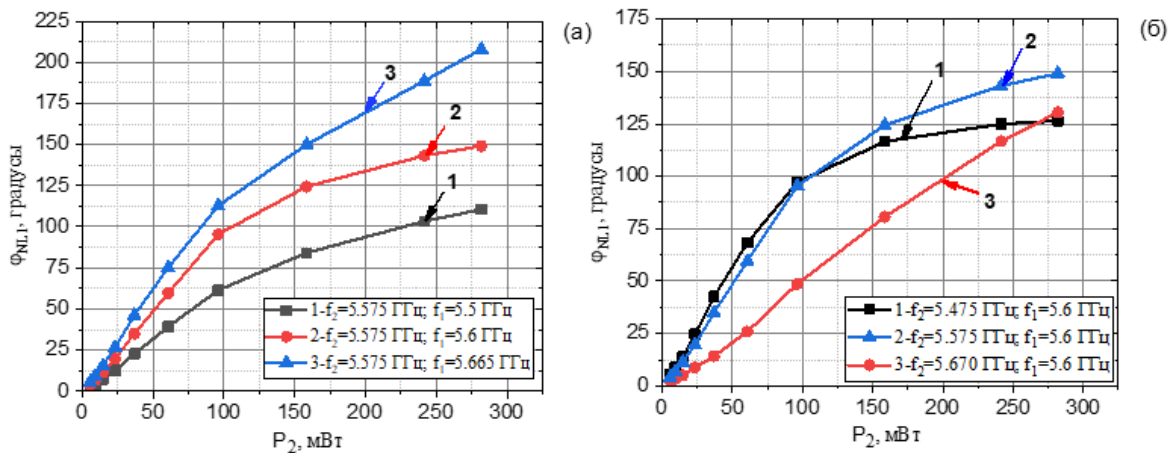


Рисунок 4. Экспериментальные зависимости наведенного нелинейного сдвига фазы маломощной СВ в зависимости от мощности накачки для разных частот  $f_1$  4(а) и  $f_2$  4(б).

Как показано на рисунке 4(а), увеличение мощности сигнала накачки приводит к росту нелинейного сдвига фазы. Более того, на частоте  $f_1 = 5.665$  ГГц наведенный нелинейный сдвиг фазы  $\varphi_{NL1}$  превышает  $180^\circ$ , что важно при использовании в СВЧ устройствах. На рисунке 4(б) представлены схожие зависимости для различных частот рабочего сигнала на фиксированной частоте рабочего сигнала  $f_1 = 5.6$  ГГц.

### 4. Заключение

В данной работе исследовался нелинейный СВ фазовращатель на пленке ЖИГ. Полученные результаты могут быть полезны не только для создания нелинейных устройств магноники, но и для развития нелинейной физики диссипативных сред в целом.

Работа выполнена при поддержке госзадания Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. A. B. Ustinov, B. A. Kalinikos. Applied Physics Letters, 89, 172511 (2006)
2. M. M. Scott, C. E. Patton, M. P. Kostylev, B. A. Kalinikos. Journal of Applied Physics, **95**, 6294-6301 (2004).
3. A. V. Sadovnikov, S. A. Odintsov, E. N. Beginin, S. E. Sheshukova, Yu. P. Sharaevskii, S. A. Nikitov. Physical Review B **96**, 144428 (2017)