

**А.Б. Устинов<sup>1</sup>, Б.А. Калинин<sup>1</sup>, В.Ю. Мякинков<sup>2</sup>,  
Ю.Б. Рудый<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

<sup>2</sup> ФГУП "Научно-производственное предприятие "Исток"

## **Спин-волновой нелинейный направленный ответвитель**

*В работе описывается спин-волновой нелинейный направленный ответвитель, изготовленный на основе монокристаллической пленки железо-иттриевого граната. Ключевым эффектом, лежащим в основе принципа действия прибора, является нелинейный фазовый сдвиг интенсивных спиновых волн. Продемонстрировано нелинейное переключение как непрерывного, так и импульсного СВЧ сигналов.*

**Ключевые слова:** спиновые волны, нелинейный направленный ответвитель

Направленные ответвители находят применение в различных сверхвысокочастотных (СВЧ) и оптических системах передачи и обработки информации. Так, линейные направленные ответвители служат для ответвления части мощности из одного канала в другой. Большое многообразие конструкций линейных направленных ответвителей было разработано как в технике СВЧ [1]–[3], так и в интегральной оптике [4].

Схематическая иллюстрация принципа действия линейного направленного ответвителя приведена на рис. 1, а. Сигнал, подаваемый на порт 1, разделяется между портами 2 и 3. В случае идеального ответвителя мощность, ответвленная в порт 4, равна нулю. Рабочие характеристики линейных направленных ответвителей, такие как переходное ослабление и направленность, не зависят от уровня мощности ответвляемого сигнала. Иными словами, сигналы низкой и высокой мощности, подаваемые на вход линейного направленного ответвителя, ответвляются с одинаковым переходным ослаблением, как это показывает рис. 1, а.

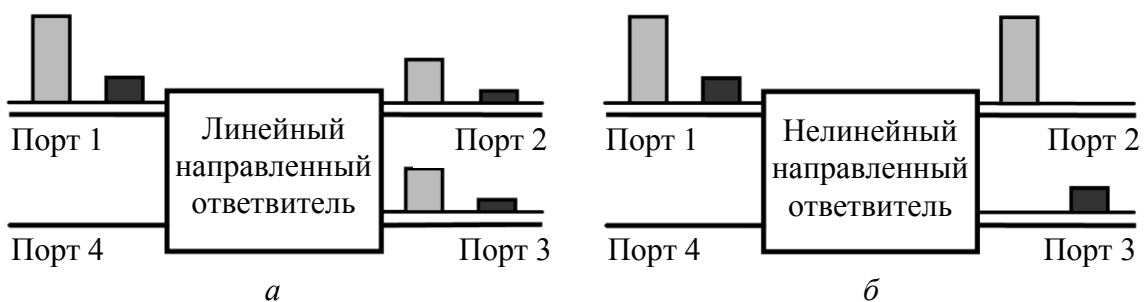


Рис. 1.

Нелинейные направленные ответвители служат для переключения, мультиплексирования и демультиплексирования сигналов. В настоящее время различные типы нелинейных направленных ответвителей разработаны в интегральной оптике [4], [5]. Схематическая иллюстрация принципа действия нелинейного направленного ответвителя показана на рис. 1, б. Отличительной особенностью устройства является зависимость переходного ослабления от уровня мощности сигнала, поданного на порт 1. В случае идеального ответвителя это приводит к тому, что

входные сигналы сравнительно низкой мощности приходят только на порт 3, а входные сигналы сравнительно высокой мощности – только на порт 2, как это показано на рис. 1, б. Иными словами, при помощи нелинейного направленного ответвителя входной сигнал можно переключать с одного канала на другой путем изменения СВЧ мощности.

Рассмотрим вначале принципы конструирования СВЧ нелинейных направленных ответвителей. Типичный СВЧ направленный ответвитель в виде шлейфного квадратурного моста схематически изображен на рис. 2. Он имеет четыре порта и состоит из четырех СВЧ линий передачи: ЛП1, ЛП2, ЛП3 и ЛП4. Если за входной порт взять порт 1, то СВЧ-сигналы на выходных портах 2–4 будут являться суммой сигналов, прошедших через эти линии

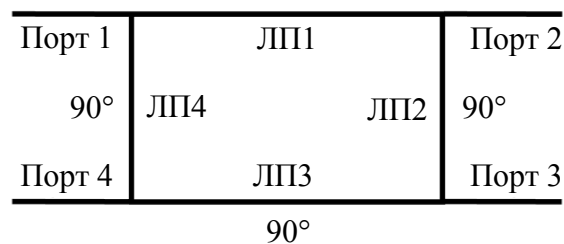


Рис. 2.

90° + Δφ<sub>NL</sub>(P<sub>in</sub>)

Поэтому на выходных портах будет происходить интерференция сигналов, приходящих с разных линий передачи. В случае линейного направленного ответвителя линии передачи ЛП1–ЛП4 являются стандартными линейными линиями передачи (например, микрополосковыми линиями). Фазовые сдвиги СВЧ-сигналов, прошедших через такие линии передачи, имеют постоянные значения для различных уровней мощности входных сигналов. Поэтому разности фаз сигналов, интерферирующих в выходных портах, не зависят от мощностей входных сигналов. Таким образом, переходное ослабление является постоянной величиной.

Рассмотрим теперь то, как должна быть модифицирована описанная конструкция, чтобы получить нелинейный направленный ответвитель. Для этого должны быть удовлетворены два условия: (1) увеличение входной мощности должно приводить к изменению разности фаз сигналов, интерферирующих в портах 2 и 3 на 180°, чтобы синфазная интерференция сигналов могла сменяться противофазной интерференцией; (2) интерферирующие сигналы должны иметь одинаковые мощности.

Чтобы удовлетворить первому условию необходимо вместо линейной линии передачи ЛП1 использовать нелинейный спин-волновой фазовращатель, изготовленный на основе пленки ЖИГ. Такой фазовращатель обеспечивает изменение фазового набега сигнала Δφ<sub>NL</sub> в нем при увеличении уровня мощности. Чтобы удовлетворить второму условию необходимо провести расчет ослабления СВЧ-сигнала в элементах схемы нелинейного направленного ответвителя.

Описанная конструкция была реализована экспериментально. В качестве линии передачи ЛП1 был использован нелинейный спин-волновой фазовращатель, изготовленный из монокристаллической пленки ЖИГ. В качестве линий передачи ЛП2, ЛП3 и ЛП4 были использованы коаксиальные кабели.

Частотные зависимости коэффициентов передачи S<sub>21</sub> и S<sub>31</sub> были измерены для различных уровней мощности входного непрерывного СВЧ-сигнала. Характеристики имели форму повторяющихся максимумов и минимумов. Такая форма характеристик

была обусловлена тем, что фазовый набег СВЧ-сигнала в нелинейном фазовращателе изменялся с частотой намного быстрее, чем в других элементах нелинейного направленного ответвителя. Поэтому выходные сигналы на одних частотах интерферировали синфазно, а на других – противофазно. В целом, результаты измерений подтверждают тот факт, что разработанный нелинейный направленный ответвитель является прибором, у которого переходное ослабление зависит от уровня мощности сигнала.

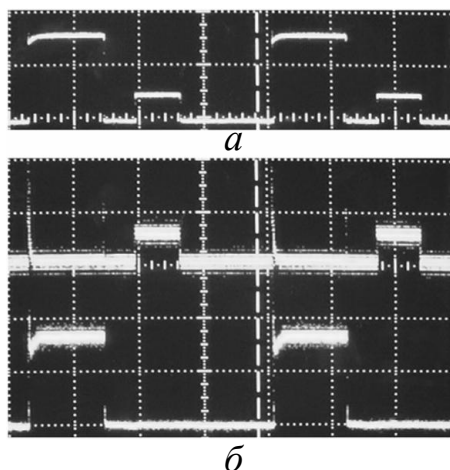


Рис. 3.

Описанное поведение коэффициентов передачи  $S_{21}$  и  $S_{31}$  при изменении уровня мощности входного сигнала позволяет реализовать функцию нелинейного переключения СВЧ-импульсов. Результаты измерений для входного сигнала, представлявшего собой последовательность импульсов низкой и высокой мощности, показаны на рис. 3. Мощность входных импульсов (рис. 3, а) составляла +8 и +21 дБм. Видно, что импульсы низкой мощности появляются только на порте 3 (верхний трек на рис. 3, б), а импульсы высокой мощности – только на порте 2 (нижний трек на рис. 3, б).

#### Библиографический список

1. Collin R. E. Foundations for Microwave Engineering. Singapore: McGraw-Hill, Inc., 1992.
2. Harlan H. J. Passive components: a brief history // Microwave Journal. 2005. V. 48, № 11. P. 22–34.
3. Микроэлектронные устройства СВЧ / Г. И. Веселов, Е. Н. Егоров, Ю. Н. Алехин и др. М.: Высш. шк., 1988.
4. Семенов А. С., Смирнов В. Л., Шмалько А. В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. М.: Радио и связь, 1990.
5. Jensen S. M. The nonlinear coherent coupler // IEEE Journal of Quantum Electronics. 1982. V. QE-18, № 10. P. 1580–1583.