

**Васильев А.Н.<sup>1</sup>, Задорожный А.И.<sup>1</sup>, Борисова Е.Ю.<sup>2</sup>, Лезина Е.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Планета-ИРМИС»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

## **Ограничитель мощности на основе отражательного фазовращателя с сегнетоэлектрическим нелинейным элементом**

*Представлены результаты разработки и исследования ограничителя мощности на основе отражательного фазовращателя с сегнетоэлектрическим элементом. Проанализирована зависимость основных параметров отражательного фазовращателя от уровня СВЧ мощности. На основе этой зависимости разработана конструкция ограничителя мощности с использованием 3-дБ направленного ответвителя.*

**Ключевые слова: сегнетоэлектрический конденсатор, ограничитель мощности, аналоговый фазовращатель**

Сегнетоэлектрические материалы с подавленными нелинейными свойствами широко применяются в электронике, в то время как нелинейное поведение сегнетоэлектриков в парафазном состоянии не используются в промышленно выпускаемых СВЧ-устройствах. Однако эти материалы потенциально могут быть использованы в таких устройствах, как генераторы, управляемые напряжением, фазовращатели, перестраиваемые фильтры, параметрические усилители, смесители и т.д.[1].

Использование сегнетоэлектрических конденсаторов для ограничения большой мощности (киловатты) известно давно. Первые работы, описывающие использование сегнетоэлектрических материалов для подобных применений, относятся к 1960-м годам [2, 3]. Однако на сегодняшний день сегнетоэлектрические ограничители мощности не используются в телекоммуникационных системах, хотя такое свойство сегнетоэлектрического материала, как управление его диэлектрической постоянной СВЧ-полем, может дать серьезное преимущество при ограничении мощных коротких импульсов для защиты чувствительных входов приемников. Сегнетоэлектрические материалы в парафазе имеют преимущество быстрого отклика на приложенное СВЧ-поле по сравнению с обычными *pin*-диодами [4]. Это свойство особенно важно для решения проблемы ограничения коротких импульсов высокой мощности. К тому же добротность полупроводникового диода уменьшается, в то время как добротность сегнетоэлектрических материалов может оставаться довольно высокой [5].

В данной работе для создания ограничителя предложено использовать классическую схему проходного фазовращателя на гибридном устройстве [6]. Отличие состоит в том, что одно из плеч моста нагружено на линию с неизменяемой электрической длиной, в то время как второе плечо нагружено на сегнетоэлектрический отражательный фазовращатель. Линия имеет такие же потери и электрическую длину, как и фазовращатель при нулевом смещении (см. рис.1).

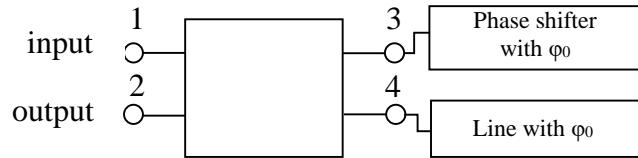


Рис. 1

При низком уровне мощности на входе схемы изменения фазы отражательного фазовращателя не происходит, и сигнал без искажения проходит через устройство, так как сигналы, отраженные от плеч 3 и 4 синфазные и равны по амплитуде. Стоит отметить, что вносимые потери зависят от добротности сегнетоэлектрического элемента, а суммарные потери всего устройства сравнимы с потерями *pin*-диодного ограничителя, рассчитанного на сравнимую высокую мощность. При увеличении уровня СВЧ мощности на входе, сегнетоэлектрический фазовращатель [7] будет менять фазу коэффициента отражения и, соответственно, будет увеличиваться коэффициент отражения от входа 1. Сегнетоэлектрический фазовращатель представляет собой последовательный резонансный контур с четвертьволновым шлейфом, как показано на рисунке 2.

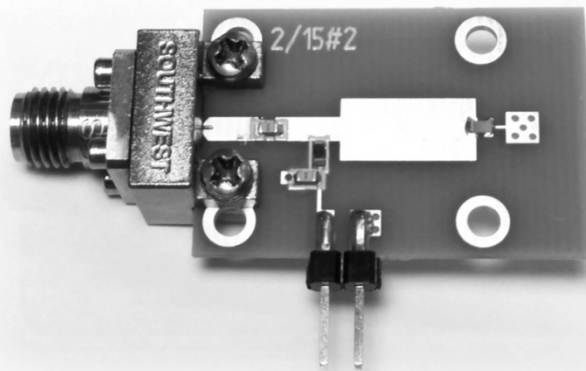


Рис.2. Фотография макета отражательного фазовращателя

На рис.3 показаны экспериментальные характеристики отражательного фазовращателя в зависимости от напряжения управления. Максимальный фазовый сдвиг отражательного фазовращателя равен 180 градусам, соответственно с некоторого уровня входной мощности сигналы, отраженные от плеч 3 и 4, станут противофазные, и мощность на выходе ограничителя будет стремиться к 0. Такой механизм ограничения является оригинальным и принципиально отличается от работы классических схем, где потери запираения не увеличиваются, начиная с некоторого значения входной мощности.

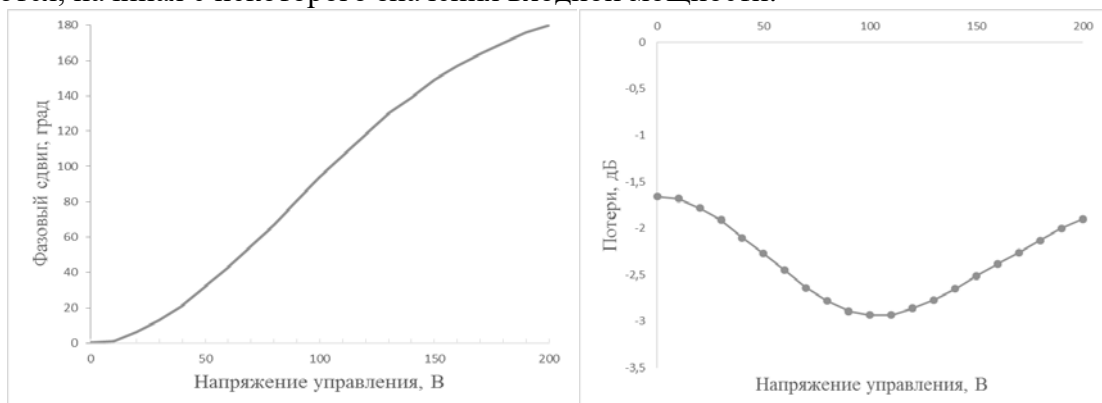


Рис. 3. Фазовый сдвиг и потери от напряжения управления на частоте 3.7 ГГц.

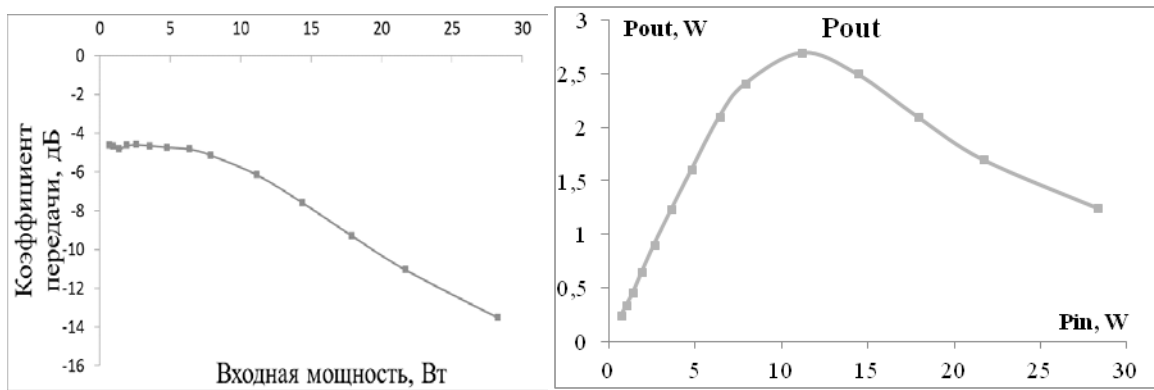


Рис.4. Экспериментальные характеристики ограничителя мощности.

На рис. 4 приведены результаты экспериментального исследования ограничителя мощности. Как видно на графиках коэффициент передачи не меняется до порогового уровня мощности, а затем плавно уменьшается.

Сегнетоэлектрический конденсатор был изготовлен на подложке из ситалла, поэтому теплоотвод от конденсатора практически не обеспечивался. По этой причине мощность подавалась в импульсном режиме с длиной импульса 10 мкс и скважностью 100 на частоте 3,7 ГГц.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что предложенная идея работоспособна и подходит для создания ограничителей мощности, применяемых в системах радиолокации и телекоммуникаций. Из особенностей, присущих предложенной схеме стоит отметить равномерное увеличение потерь запираания с увеличением входной мощности, а также потенциальное высокое быстродействие по сравнению с существующими аналогами.

#### Библиографический список

1. Вендик О.Г. Сегнетоэлектрики в технике СВЧ. М.: Сов.радио, 1979. 272 с.
2. Cohn M. A high power ferroelectric limiter / Cohn M., Eikenberg A.F.//– PTMTT International Symposium Digest / – 1964. – Vol. 64. – №1. – pp. 144-149.
3. Horton J.B. A one-GHz ferroelectric limiter / Horton J.B., Donaldson M.R.//– IEEE Trans. On MTT / – 1967. – Vol. 15. – №9. – pp. 517-523.
4. R.R. Romanofsky, “Array Phase shifters: Teory and Technjlogy” в книге John L. VolaKis “Antenna Engineering Handbook”, pp. 21.1-21.25
5. Gevorgian S. Do We Really Need Ferroelectrics in Paraelectric Phase only in Electrically Controlled Microwave Devices / Gevorgian S., Kollberg E.L.// – IEEE Trans. On MTT/ – 2001. – Vol. 49. – №11. – pp. 2117-2124.
6. Малорацкий Л.Г. Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ. М.: Сов.радио, 1976.
7. А.Н. Васильев. Влияние мощности СВЧ сигнала на управляемость сегнетоэлектрического фазовращателя / А.Н. Васильев, О.Г. Вендик, И.В. Якушин // Журнал Технической Физики. - 2011. Т. 81. Вып. 10. С. 55-59.