

**Д.М. Косьмин, И.В. Котельников, В.Н. Осадчий,  
В.В. Лучинин, А.Б. Козырев**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

## **Фазовращатели для связных фазированных антенных решеток диапазона частот 2÷30 ГГц**

*В статье рассмотрены фазовращатели на основе микроэлектромеханических элементов для связных фазированных антенных решеток работающих в диапазоне частот 2÷30 ГГц.*

**Ключевые слова:** СВЧ, фазовращатель, МЭМС, микроэлектромеханический элемент

Ключевыми устройствами систем фазированных антенных решеток (ФАР) являются фазовращатели, число которых в зависимости от назначения системы составляет от десятков до десятков тысяч штук в каждой решетке. Параметры и стоимость фазовращателей играют доминирующую роль, как в получении необходимых технических характеристик антенных систем, так и в их ценообразовании. Многообразие требований к антенным системам не позволяет выделить какой-либо класс фазовращателей, как полностью удовлетворяющий этим требованиям. Как правило выбор того или иного класса устройств определяется компромиссом ряда основных параметров (например быстродействие, рабочая СВЧ мощность, потребляемая мощность управления, массогабаритные параметры, стоимость).

Преимущество фазовращателей и антенн и на основе микроэлектромеханических (МЭМ) элементов по сравнению с антennами на основе традиционной (полупроводники, ферриты) элементной базе показано в [1].

В настоящей работе рассмотрены фазовращатели на частоты 2.4 ГГц, 5.75 ГГц, 9.1 ГГц, и 25.5 ГГц на основе МЭМ элементов типа SP4T с электростатическим управлением.

Моделирование фазовращателя производилось в две стадии:

-предварительное моделирование на основе эквивалентных представлений в программе моделирования СВЧ цепей Microwave Office. Рассчитывались физические и электрические длины коммутируемых СВЧ микрополосковых линий и их компоновка на плате, а также элементы подачи сигналов управления на МЭМ переключатели;

- окончательное моделирование фазовращателя, включающее в себя моделирование МЭМ элемента, элементов согласования с СВЧ микрополосковыми линиями, уточнение топологий микрополосковых линий и построение полной 3D модели всего фазовращателя в программной оболочке трехмерного электромагнитного моделирования СВЧ структур Ansoft HFSS.

На основе результатов моделирования спроектированы 4-слойные платы фазовращателей ориентированные на использование как разъемов SMA типа, так и с микрополосковыми выводами.

МЭМ ФВ представляют собой 4х-слойную СВЧ плату, содержащую четыре МЭМ элемента. Платы изготовлены по технологии многослойных печатных плат из материала Rogers серии 4000. Использование 4х слоев достаточно для реализации развязки СВЧ микрополосковых линий и подводящих линий подачи сигналов управления (постоянных или импульсных) от выводов управления ФВ к МЭМ элементам.

Были изготовлены фазовращатели на основе МЭМ элементов на частоты 2.4 ГГц, 2.8 ГГц, 5.75 ГГц и 9.1 ГГц. Фотографии фазовращателей показаны на рис.1 (а – ФВ 2.4 ГГц, б – 2.8 ГГц, в – ФВ 5.75 ГГц, г – ФВ 9.1 ГГц, д – ФВ 25.5 ГГц (топология)). Характеристики фазовращателей приведены в таблице 1. Типичные частотные характеристики показаны на примере фазовращателя 5.75 ГГц на рисунке 2.

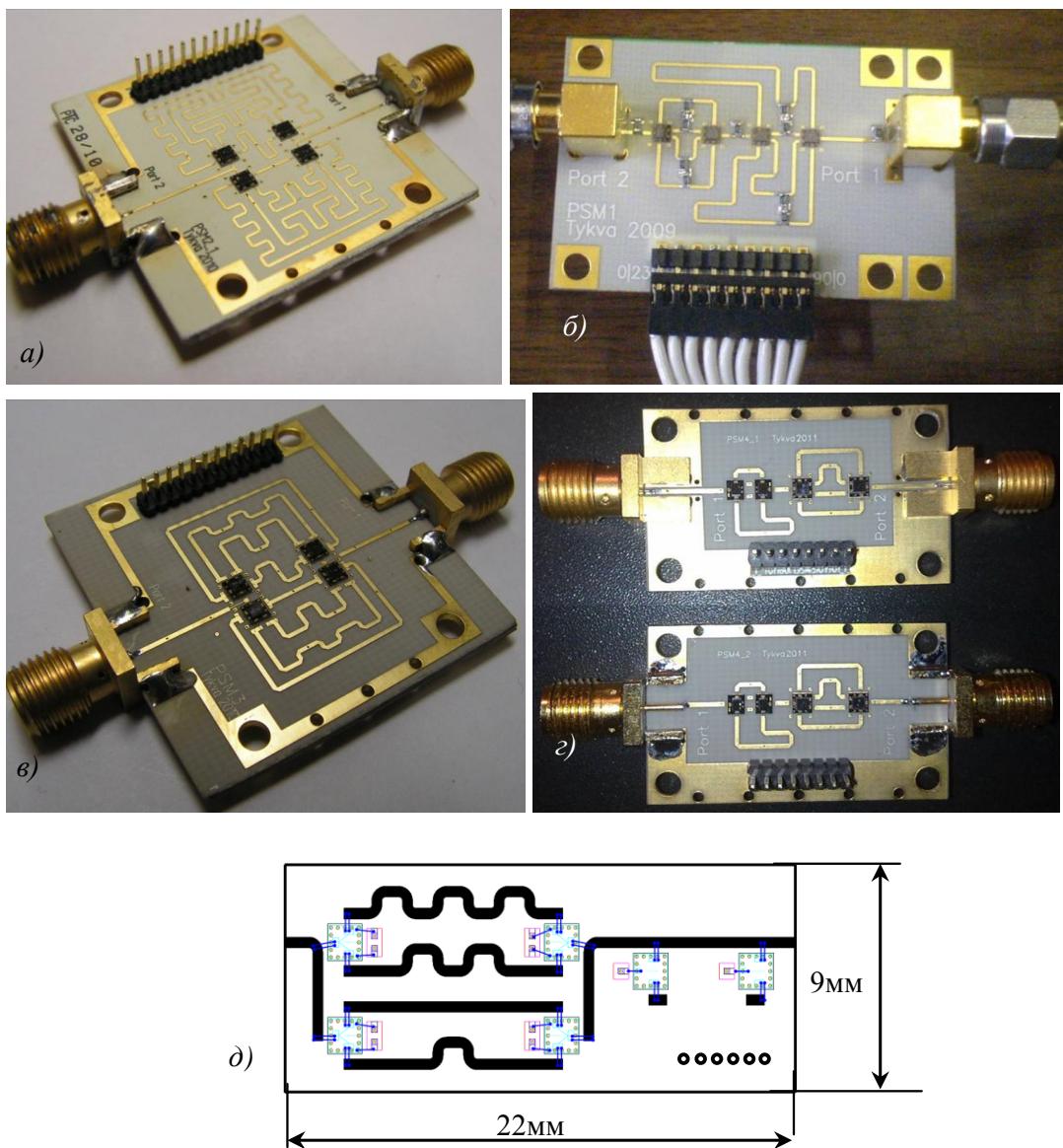


Рис.1.

Таблица 1 Характеристики фазовращателей

Характеристика	Фазовращатель				
	2.4ГГц	2.8ГГц	5.75ГГц	9.1ГГц	25.5ГГц
Центральная частота, ГГц	2.4	2.8	5.75	9.1	25.5
Рабочая полоса частот, МГц	200	200	300	300	1000
Вносимые потери с полосковыми выводами ( $ S_{21} ,  S_{12} $ ), дБ	1.1±0.3	1.2±0.2	1.2±0.25	1.2±0.25	1.8±0.4
Вносимые потери с SMA разъемами ( $ S_{21} ,  S_{12} $ ), дБ	1.3±0.3	1.4±0.2	1.4±0.25	1.4±0.25	-
Согласование ( $S_{11}, S_{22}$ ), дБ, не более	-15	-16	-15	-15	-15
Дискрет по фазе, °	45	22.5	45	45	45
Количество фазовых состояний	8	16	8	8	8
Абсолютная погрешность установки фазы, °, не более	±3	±3	±3	±3	±4
Время установки фазы, мкс			10		
Непрерывная рабочая СВЧ мощность, мВт			100		
Пиковая рабочая СВЧ мощность, мВт			1000		
Средняя потребляемая мощность при частоте управления 1кГц, мкВт, не более	8	15	8	8	8
Габариты платы с полосковыми выводами, $\text{мм}^3$	24x30x0.8	40x30x0.8	24x30x0.8	19x18x0.5	22x9x0.8
Габариты платы с SMA разъемами, $\text{мм}^3$	32x30x0.8	45x30x0.8	32x30x0.8	30x18x0.5	-

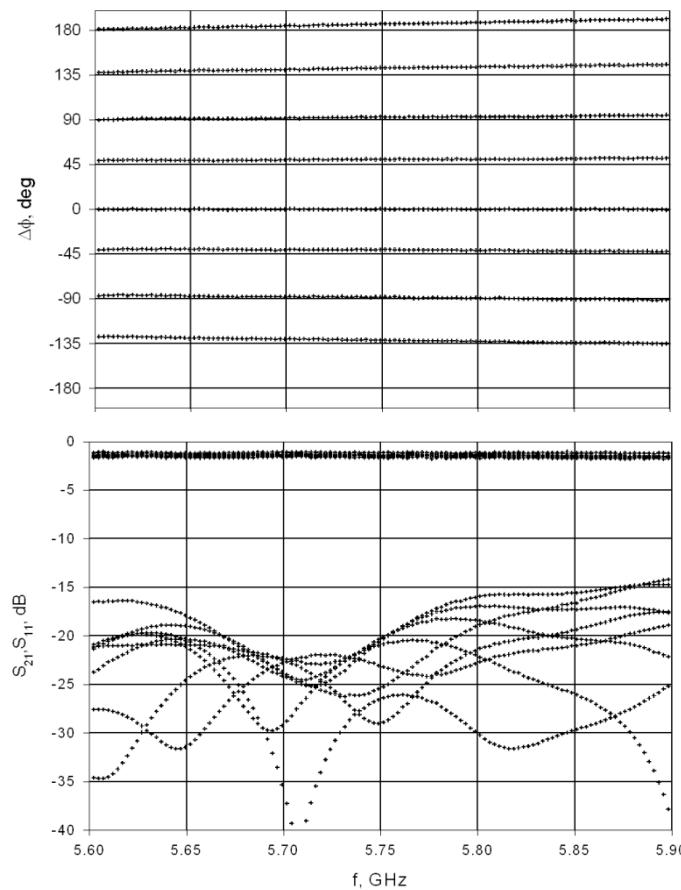


Рис.2.

Рассмотренные фазовращатели обладают рекордно низкой потребляемой мощностью, низкими СВЧ потерями, обеспечивают малые погрешности установки фазы и отсутствие амплитудной модуляции при переключении всех фазовых состояний.

#### Библиографический список

1. О.С. Бохов, Д.М. Косьмин, И.В. Котельников, А.Б. Козырев, В.Н. Осадчий. Низкопотребляющие малогабаритные радиотехнические модули на основе микроэлектромеханических ключей // Биотехносфера №1-2 (13-14). 2011. с. 99-103