

## Сегнетоэлектрический фазовращатель на копланарной линии с центральной частотой 13 ГГц

Г.А. Данильченко, А. Богдан, Е.Н. Сапего, И.Д. Максименко, А.В. Тумаркин, А.Р. Карамов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

**Аннотация:** в данной работе представлены результаты проектирования сегнетоэлектрического фазовращателя на 13 ГГц на копланарной линии в программе CST Studio Suite. Рассчитанный фазовращатель удовлетворяет требуемым современным параметрам как по передаче входного сигнала, так и по изменению фазы в заданном диапазоне напряжений. Результаты проектирования показывают перспективу технической реализации разрабатываемого устройства.

**Ключевые слова:** фазовращатель, сегнетоэлектрик, CST Studio Suite, копланарная линия передачи

В современной радиочастотной и микроволновой электронике особое место занимает фазовращатель (ФВ). Это устройство применяется во многих научно-технических сферах, одной из которых является спутниковая передача данных из космоса. Для его создания используют ферромагнитные, сегнетоэлектрические (СЭ) или полупроводниковые материалы, характеризующиеся особенностями и ограничениями применения [1].

Особое внимание уделяется СЭ материалам из-за их уникальных свойств, которые открывают новые и перспективные возможности в области СВЧ электроники. Данный материал в широких диапазонах изменяет значение диэлектрической проницаемости под действием внешнего электрического поля, благодаря чему открываются возможности управления фазой входного сигнала. Среди преимуществ ФВ на СЭ можно назвать относительно низкое энергопотребление, высокую радиационную стойкость и простоту изготовления [2]. Благодаря этим свойствам, СЭ материалы являются перспективными в области разработки СВЧ электроники.

Создание модели ФВ производилось в программном пакете CST Studio Suite. Целью моделирования было проектирование СЭ ФВ на частоте 13 ГГц со следующими параметрами:  $S_{11}$  не хуже -10 дБ,  $S_{21}$  не хуже -20 дБ и изменение фазы  $\Delta\varphi$  не менее  $20^\circ$  в диапазоне заданного напряжения.

В качестве материала подложки используется металлизированный поликор ВК-100 толщиной 500 мкм с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r=9,8$ . В качестве нелинейного материала используется СЭ  $\text{SrTiO}_3$  толщиной 1 мкм с  $\text{tg}\delta=0,015$ , с нижним платиновым и верхним медным электродами. Данная структура образует металл – диэлектрик – металл (МДМ) конденсатор, управляющее напряжение которого находится в диапазоне до 30 В.

Разрабатываемая конструкция представляет собой копланарную нагруженную линию передачи с заземлением [1,2]. Управляющее напряжение подается между металлизированными слоями, что приводит к изменению емкости распределенного СЭ конденсатора и, как следствие, фазы входного сигнала. Стоит отметить, что одним из преимуществ данной конструкции является относительно простая технологическая реализация разрабатываемого ФВ.

В результате проектирования ФВ были получены следующие характеристики:  $S_{11}$  не хуже -10 дБ,  $S_{21}$  не хуже -15 дБ и изменение фазы  $\Delta\varphi$  примерно  $21^\circ$  в диапазоне заданного напряжения с учетом согласования. Можно сказать, что данные параметры удовлетворяют поставленной задаче, что позволяет провести дальнейшие шаги в

области разработки данного ФВ.

Данная работа выполнена при поддержке **Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта № 075-01438-22-07 - FSEE-2022-0015, а также СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в рамках научного проекта НР/ФЭТ-139.**

#### Список литературы

1. Вендик О. Г. (ред.). Сегнетоэлектрики в технике СВЧ. – Сов. радио, 1979.
2. D.M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley and Sons, Inc., fourth ed. (2012).