

Аналоговый фазовращатель СВЧ диапазона на температурно-стабильных варикондах

А.И. Фирсенков¹, А.А. Артёшкин^{1,2}, Д.В. Велькин¹, И.Г. Мироненко², А.А. Иванов^{1,2}

¹ОАО «Завод Магнетон»

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: Рассмотрен аналоговый фазовращатель на температурно-стабильных сегнетоэлектрических варикондах. Представлены результаты расчета и измерений параметров фазовращателя в широком интервале температур.

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, вариконд, фазовращатель СВЧ, ФАР, многослойные нанокompозитные сегнетоэлектрические пленки

1. Введение

Одним из основных элементов любой современной радарной системы является фазовращатель (ФВ). В настоящее время в технике сверхвысоких частот широко применяются фазовращатели на основе полупроводниковых $p-n$ переходов, $p-i-n$ диодов, ферритов и сегнетоэлектриков. Возможность перестройки фазы сигнала может быть реализована с дискретным шагом, как правило для этого используют $p-i-n$ диоды, а для плавного управления в конструкции фазовращателей применяются полупроводниковые элементы, ферриты или сегнетоэлектрики. Основным достоинством ФВ на $p-i-n$ диодах, ферритах и сегнетоэлектриках является возможность их использования при высоких значениях уровнях СВЧ мощности, также $p-i-n$ диоды и сегнетоэлектрики обеспечивают высокое быстродействие. Однако конструкции на $p-i-n$ диодах и ферритах требуют значительных затрат энергии по цепям управления, в то время как ФВ реализованные на сегнетоэлектриках характеризуются значительно меньшим энергопотреблением на управление, на порядок меньше, чем у аналогов.

Десятилетия ФВ на сегнетоэлектриках [1] не находили практического применения из-за высокой температурной зависимости их параметров. Решение задачи по термостабилизации диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков было найдено [2–5] и, таким образом, появилась возможность реализации термостабильных фазовращателей на сегнетоэлектриках в различных конструктивных исполнениях.

2. Аналоговый фазовращатель на сегнетоэлектрических варикондах

На основе сегнетоэлектрических варикондов [6] был разработан макет аналогового фазовращателя с плавным управлением фазой сигнала, который представлен на рис. 1.

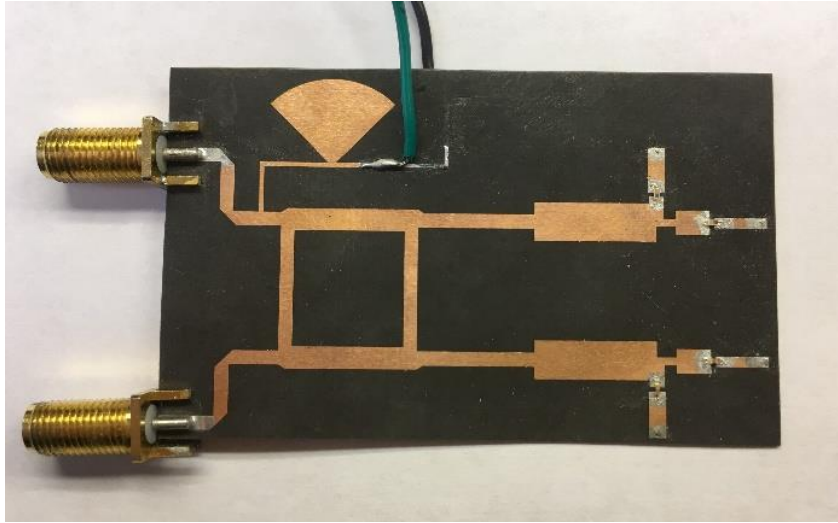


Рисунок 1. Макет аналогового фазовращателя на сегнетоэлектрических варикондах на основе направленного ответвителя.

Электрическая схема модели данного устройства, спроектированная в САПР AWRMWO, изображена на рис. 2.

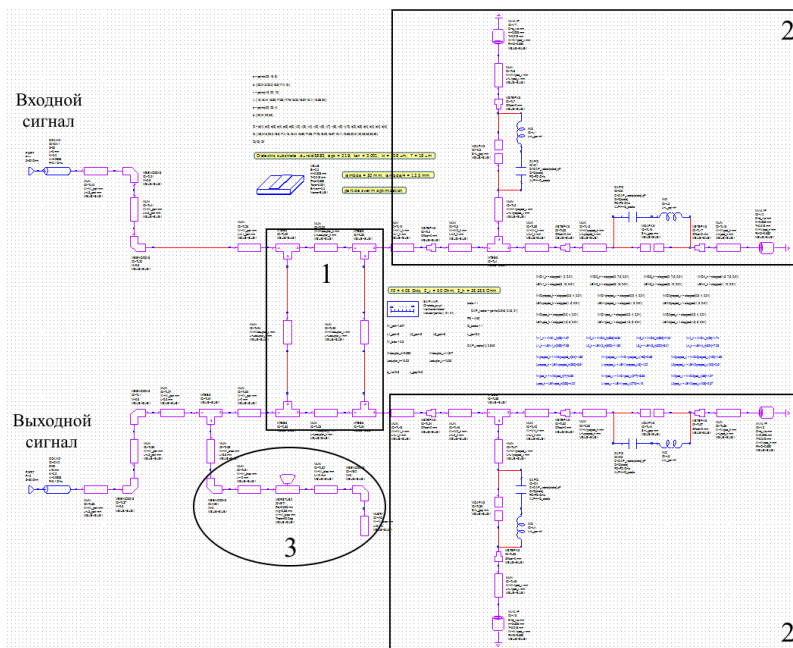


Рисунок 2. Электрическая схема модели аналогового фазовращателя на сегнетоэлектрических варикондах.

Фазовращатель состоит из симметричного шлейфового направленного 3 дБ ответвителя (1), двух фазосдвигающих плеч, в которых находятся по два параллельно включённых сегнетоэлектрических вариконда (2). Подача управляющего напряжения осуществляется через цепь управления (3), включающая в себя радиальный шлейф, обеспечивающий развязку по СВЧ сигналу не менее 40 дБ.

На рис.3 приведены расчётные и экспериментальные характеристики коэффициента передачи S_{21} ФВ с рабочей частотой 4,05 ГГц и полосой пропускания ~7,5%. Экспериментальные и полученные в результате моделирования зависимости хорошо коррелируют.

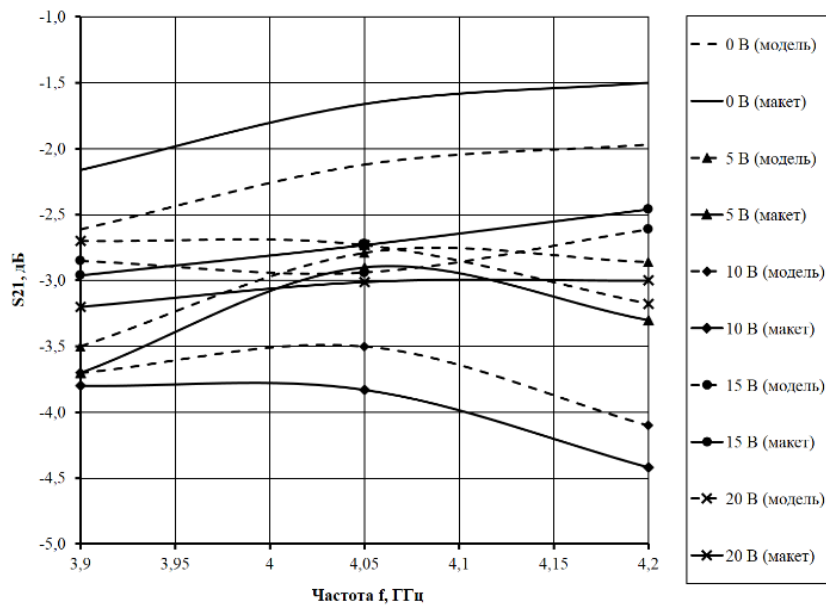


Рисунок 3. Частотные зависимости коэффициента передачи модели и макета при различных значениях управляющего напряжения.

Зависимость фазового сдвига от величины управляющего напряжения представлена на рис. 4. Видно, что фазовый сдвиг в 360° обеспечивается напряжением управления в 20 В, при этом вносимые потери на рабочей частоте не превышают 3,7 дБ (рис. 3.).

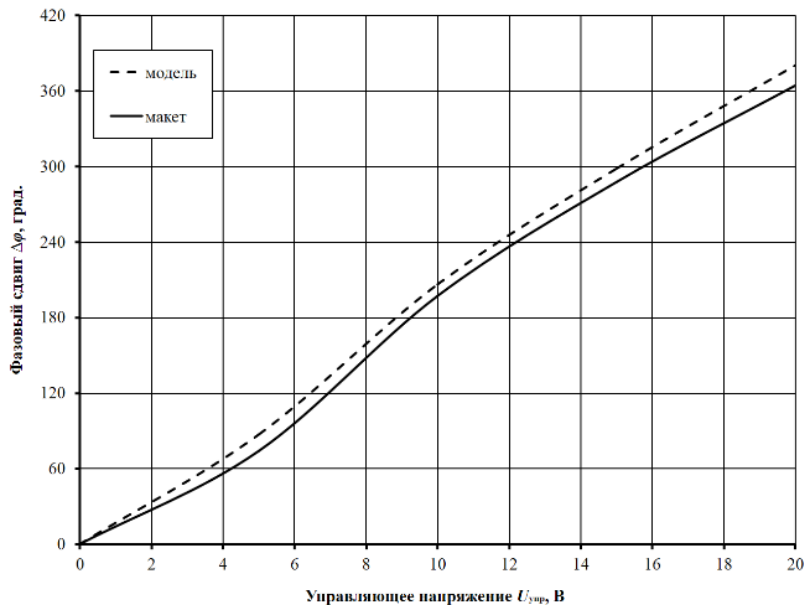


Рисунок 4. Зависимость фазового сдвига модели и макета от управляющего напряжения на рабочей частоте 4,05 ГГц.

Экспериментальные результаты измерений фазового сдвига $\Delta\varphi$ от управляющего напряжения в температурном интервале от минус 60 до плюс 85°C изображены на рис.5.

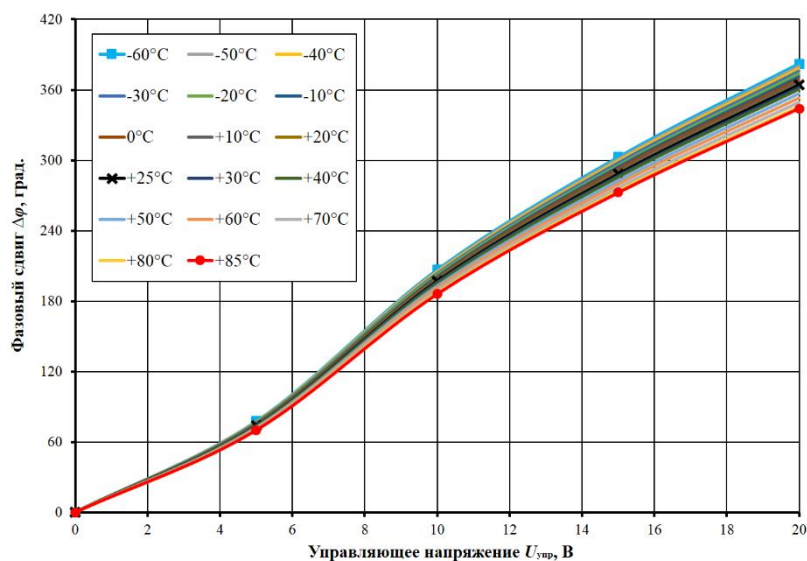


Рисунок 5. Зависимость фазового сдвига макета ФВ от управляющего напряжения в интервале температур.

Изменение фазового сдвига в диапазоне температур от -60° до +25° С составляет 6%, от +25 ÷ +85°С — 14%. Можно заметить, что после +45°С фазовый сдвиг начал изменяться с наибольшим значением. Такая температурная нестабильность ФВ может быть уменьшена применением сегнетоэлектрических конденсаторов с многослойными сегнетоэлектрическими плёнками с числом слоёв более двадцати семи. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что фазовращатель термостабилен в широком интервале температур.

3. Заключение

В результате выполненной работы был изготовлен макет термостабильного аналогового фазовращателя на сегнетоэлектрических варикондах, характеризующийся следующими параметрами:

- рабочая частота $f_0 = 4,05$ ГГц;
- ширина полосы пропускания $\Delta f = 300$ МГц;
- вносимые потери $\alpha \leq 4,5$ дБ;
- управляемый фазовый сдвиг $\Delta\varphi_{упр} \geq 360^\circ$;
- диапазон значений управляющего напряжения $\Delta U_{упр} = 0 \div 20$ В;
- диапазон рабочих температур $\Delta T = \text{минус } 60, +85^\circ\text{С}$.

Таким образом, разработанный фазовращатель имеет высокие технические параметры и может быть использован в качестве элемента ФАР, работающего в широком температурном интервале. По сравнению с аналоговыми фазовращателями на варикапах и ферритах разработанный фазовращатель на сегнетоэлектрических варикондах характеризуется низкой себестоимостью, не требует дорогостоящего оборудования для изготовления, а также является полностью отечественным продуктом.

Список литературы

1. Щелевая линия [Текст]: пат. 2443042 Рос. Федерация: МПК Н01Р 3/08 / Мироненко И.Г., Иванов А.А., Карманенко С.Ф., Семенов А.А., Белявский П.Ю.; заявл. 19.11.2010; опубл. 20.02.2012.
2. И.Г. Мироненко, А.А. Иванов, А.А. Семенов, Д.В. Велькин, “Щелевая линия на основе

нанокомпозитных сегнетоэлектрических пленок”, Радиотехника, 7, 2012. стр. 117-122

3. И.Г. Мироненко, А.А. Иванов, и др. Влияние послеростового отжига на диэлектрическую проницаемость многослойных многокомпонентных сегнетоэлектрических пленок, Электроника и микроэлектроника // СВЧ.Сборник статей VII Всероссийской конференции.СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018, стр. 594 – 597.
4. В.М. Балашов, И.Г. Мироненко, А.А. Иванов, А.И. Фирсенков, Д.В. Велькин, О.В. Яковлев, Н.А. Емельянов, Технология и диэлектрические свойства многослойных нанокомпозитных сегнетоэлектрических плёнок, Вопросы Радиоэлектроники сер. РЛТ, 2018, январь, выпуск 1.
5. И.Г. Мироненко, А.А. Иванов, О.Ю. Буслов, Д.В. Велькин и др., “СВЧ - свойства термостабильных сегнетоэлектрических конденсаторов на основе тонких нанокомпозитных пленок” // III – ая Всероссийская научно-техническая конференция “Электроника и микроэлектроника СВЧ” 2 – 5 июня 2014г., г. Санкт-Петербург стр. 412 – 416.
6. А.И. Фирсенков, И.Г. Мироненко, А.А. Иванов, и др. Электрически управляемые сэндвич-конденсаторы на многослойных сегнетоэлектрических плёнках // Электроника и микроэлектроника СВЧ. Сборник статей VII Всероссийской конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018, стр. 34 – 38.