

РАЗРАБОТКА БЛОКА ДИСКРЕТНЫХ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Любин М.К., Мительман Ю.Е.

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Екатеринбург, Россия

mkv312792@yandex.ru

Аннотация. Системы радиозондирования атмосферы используют фазированные антенные решетки (ФАР) для формирования луча слежения за радиозондами. Фазовращатели (ФВ), установленные в ФАР, позволяют изменять положение луча, поэтому их характеристики играют важную роль: они должны иметь наименьшие ошибки по фазе, вносимые потери, размеры, стоимость и т.д. Целью работы является разработка блока дискретных ФВ с шагом изменения фазы $11,25^\circ$ на центральной частоте 435 МГц, размерами не более 100×100 мм, ошибкой установки фазы не более 10%, вносимым затуханием не более 3 дБ. Разработанный блок ФВ удовлетворяет большей части требований задания.

Ключевые слова: системы радиозондирования, дискретный фазовращатель, фазированная антенная решетка, фильтр нижних частот, радиозонд.

DEVELOPMENT OF A BLOCK OF DISCRETE PHASE SHIFTERS FOR THE ATMOSPHERIC RADIOSONDING SYSTEM

Lyubin M.K., Mitelman Y.E.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Atmospheric radiosonde systems use phased array antennas (FAA) to form a tracking beam for radiosondes. Phase shifters installed in the FAA allow one to change the beam angle, therefore their characteristics play an important role: they must have the least phase errors, insertion losses, dimensions, cost, etc. The purpose of the work is to develop a block of discrete phase shifters

with a phase change step of 11.25° at a central frequency of 435 MHz, with dimensions not exceeding 100×100 mm, phase setting error of no more than 10%, insertion loss of no more than 3 dB. The developed phase shifter satisfies most of the requirements of the assignment.

Keywords: atmospheric radiosonding systems, discrete phase shifter, phased array antenna, low-pass filter, radiosonde.

1. Введение

Современные системы радиозондирования атмосферы или аэрологические регистрационно-вычислительные комплексы (АРВК) [1] используют фазированные антенные решетки (ФАР) для организации каналов связи с радиозондами. Эти ФАР позволяют либо отслеживать положение радиозонда в реальном времени и осуществлять непрерывное наведение на него антенны такого комплекса, либо осуществлять наведение без подстройки положения, выполняя электрическое сканирование и поворот диаграммы направленности (ДН). В процессе отклонения главного лепестка ДН при сканировании играют важную роль фазовращатели (ФВ), располагаемые, как правило, на каждом излучающем элементе ФАР. Их характеристиками, в том числе, определяется итоговая разрешающая способность комплекса и дальность связи с радиозондами. Поэтому важной задачей при модернизации АРВК является проектирование наиболее эффективных ФВ – имеющих достаточно широкую полосу рабочих частот, малое проходное ослабление, точную установку фазового сдвига.

Дискретные ФВ обеспечивают ступенчатое изменение фазы [2]. Управление фазой осуществляется путём включения/выключения напряжения на управляемых элементах. На сегодняшний день широкое распространение получили коммутируемые ФВ, которые представляют собой последовательное включение нескольких звеньев с различными фазовыми сдвигами. Требуемый фазовый сдвиг обеспечивается включением определенной комбинации звеньев.

2. Основная часть

Для разработки принято решение провести моделирование пятиразрядного цифрового фазовращателя типа коммутируемая линия, где в качестве активных переключающих элементов использованы $p-i-n$ диоды. При этом более длинная линия, на которой происходит набег фазы, заменена фильтром нижних частот (ФНЧ) для уменьшения размеров ФВ (рисунок 1).

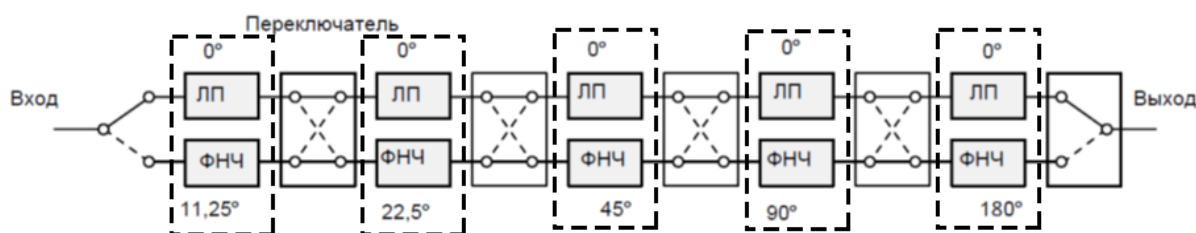


Рисунок 1 – Схема блока ФВ

В работе использовалось ПО *Cadence AWR Design*. Проектирование фильтров осуществлялось при помощи синтезатора фильтров *iFilter*. Изменяя частоту среза фильтра, можно добиться нужного сдвига по фазе, и минимального затухания.

Для ФВ на фазовые сдвиги $22,5^\circ$ и $11,25^\circ$ был выбран двухзвенный фильтр, который давал такое же затухание и необходимый сдвиг, а также позволял уменьшить габариты конструкции. Для ФВ на фазовые сдвиги 90° , 45° были использованы трехзвенные фильтры, для ФВ на фазовый сдвиг 180° был взят пятизвенный фильтр, для обеспечения минимального затухания в линии.

В таблице 1 представлены результаты расчета номиналов элементов с помощью моделирования.

Таблица 1 – Номиналы пассивных элементов ФВ

$\Delta\phi$	$C1$, пФ	$C2$, пФ	$C3$, пФ	$L1$, нГн	$L2$, нГн
$11,25^\circ$	2,2			2,7	
$22,5^\circ$	3,3			6,2	
45°	3,3	3,3		12	
90°	5,6	5,6		22	
180°	5,6	10	5,6	22	22

По полученным моделям был изготовлен прототип ФВ, для подтверждения полученных при моделировании характеристик (рисунок 2).

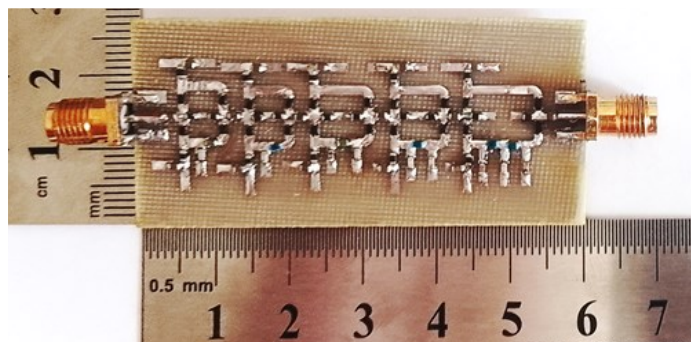


Рисунок 2 – Изготовленный прототип ФВ

Экспериментальное исследование производилось с помощью анализатора цепей *OBZOR TR300/1* и источника питания постоянного тока *GPS-73303A*. Измерения проводились при подаче тока 0,5 А на *p-i-n* диоды. Так как одновременно открывающихся диодов в линии 10 шт, расположенных параллельно, на каждый подается ток 0,05 А для обеспечения баланса между проходным ослаблением и потребляемой мощностью.

На рисунках 3, 4 представлены графики частотных зависимостей фазового сдвига на измеренных частотах и абсолютное значение коэффициента передачи для всех состояний ФВ.

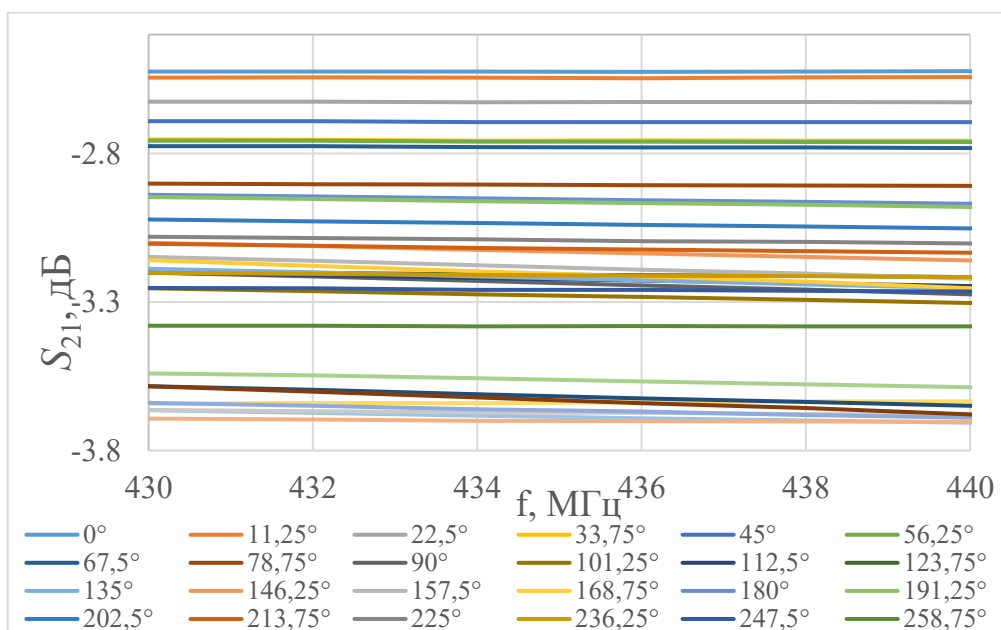


Рисунок 3 – АЧХ всех состояний фазовращателя

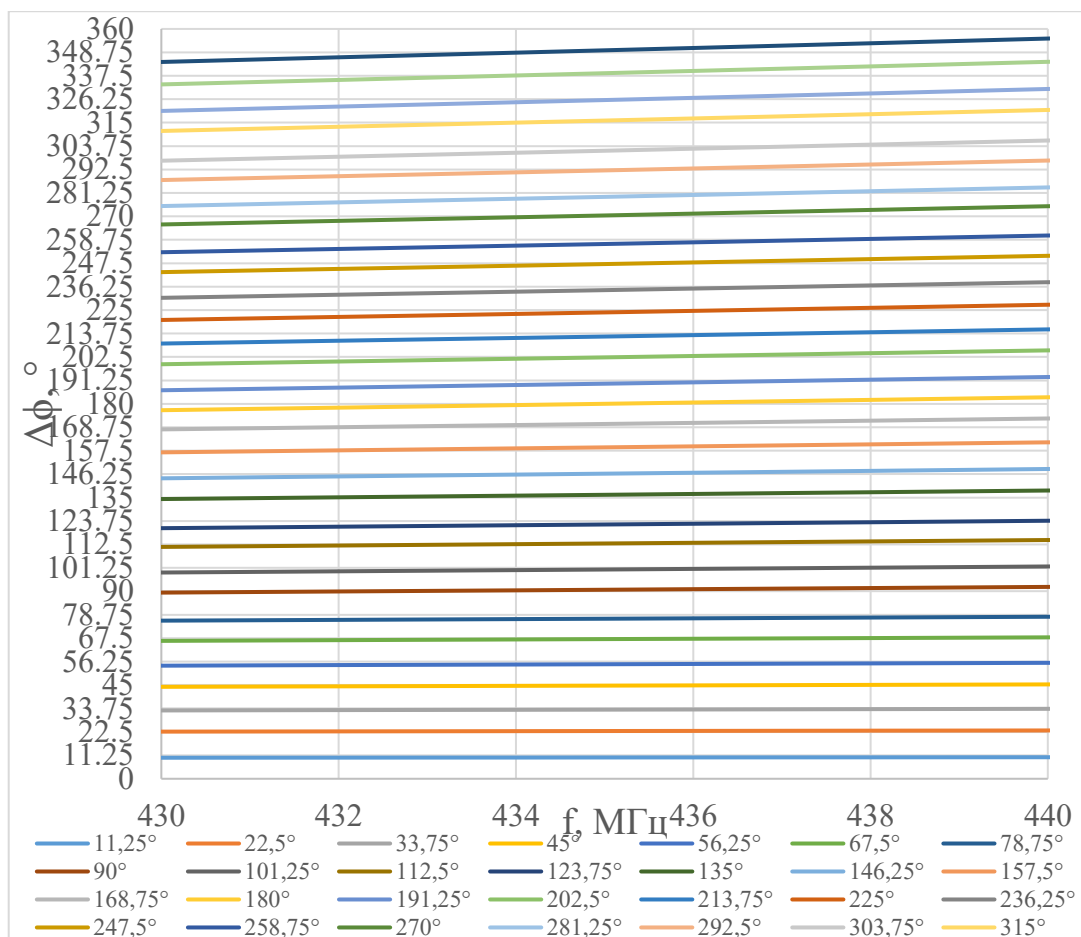


Рисунок 4 – Вносимый фазовый сдвиг всех состояний фазовращателя

3. Заключение

Разработанный фазовращатель позволяет осуществлять изменение фазы с требуемым шагом $11,25^\circ$ с ошибкой менее 10 % в заданном диапазоне частот. Вносимое затухание при включении первого (180°) и второго (90°) ключа, превышает 3 дБ. Максимальное затухание составило 3,7 дБ.

Библиографический список

1. Фридзон, М.Б. Радиозондирование атмосферы / М.Б. Фридзон, Ю.М. Ермошенко // Мир измерений. – 2009. – № 7. – С. 16–21.
2. Кочемасов, В. Твердотельные СВЧ-фазовращатели / В. Кочемасов, В. Шадский // СВЧ-электроника. – 2017. – № 1. – С. 86–100.