

## **АНАЛОГОВЫЕ ФАЗОВРАЩАТЕЛИ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ МОЩНОСТИ**

***Константин Якубович Аубакиров***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: aubakirov1949@mail.ru

***Александр Викторович Макеев***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ассистент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

Представлены результаты проектирования устройства управления фазой в дециметровом диапазоне волн в виде перестраиваемого полосового фильтра. Перестройка такого фильтра на 1/2 относительной полосы пропускания, не превышающей 40 – 50 %, обеспечивает частотно – независимый управляемый фазовый сдвиг. Минимизация паразитной амплитудной модуляции, наряду с увеличением высокочастотной мощности пропускаемой фазовращателем, достигается оптимизацией коэффициента включения варикапа в схему квазиполиномиального полосового фильтра.

**Ключевые слова:** полосовые фильтры, квадратурный направленный ответвитель, аналоговый фазовращатель.

## **ANALOG PHASE SHIFTERS OF THE DECIMETER RANGE FOR INCREASED POWER LEVEL.**

***Konstantin Ya. Aubakirov***

Siberian State University Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., PhD., Associate professor of special devices and technologies, phone: (383)361-07-31, e-mail aubakirov1949@mail.ru

***Alexander V. Makeev***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., assistant of special devices and technologies, phone: (383)361-07-31, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

The results of designing a phase control device in the decimeter wavelength range in the form of a tunable bandpass filter are presented. Tuning such a filter by 1/2 of the relative bandwidth, not exceeding 40 - 50%, provides a frequency-independent controlled phase shift. The minimization of parasitic amplitude modulation, along with an increase in the high-frequency power transmitted by the phase shifter, is achieved by optimizing the switching factor of the varicap into the quasi-polynomial bandpass filter circuit.

**Key words:** bandpass filters, quadrature directional coupler, analog phase shifter

## *Введение*

Аналоговые фазовращатели в дециметровом диапазоне длин волн (ДЦВ) могут быть выполнены как на базе квадратурного 3дБ направленного ответвителя, нагруженного на отражательные ячейки – двухполюсные элементы, содержащие варикапы, так и в виде отрезка линии передачи, в которую периодически включены аналогичные элементы. Но при этом мощность регулируемого по фазе сигнала не превышает единиц милливольт. Другим вариантом реализации фазовращателя на мощность несколько десятков ватт может быть перестраиваемый полосовой фильтр, в котором коэффициент перекрытия емкости варикапа регулируется последовательно включенной емкостью, выбранной из потребностей получения абсолютной полосы пропускания полосового фильтра [1].

## *Результаты*

Рассмотренные в [1, 2, 3] подходы к проектированию квазиполиномиальных полосовых фильтров с элементами связи между резонаторами одного типа – индуктивная связь, позволяют рассчитать элементы схемы для относительных полос пропускания фильтра  $w = \frac{2\Delta f}{f_0} \leq 0,5$ , где  $2\Delta f$  – абсолютное значение полосы

пропускания, а  $f_0$  – центральная частота полосы пропускания. Тогда при перестройке амплитудно – частотной характеристики (АЧХ) на  $w/2$  в зависимости от числа резонаторов удастся получить частотно независимый дифференциальный фазовый сдвиг при удовлетворительных значениях паразитной амплитудной модуляции и амплитудно-фазовой конверсии при мощности несколько десятков ватт. Электрическая схема фазовращателя (ФВ) представлена на рис. 1. Используются варикапы КВ 106Б, индуктивности выполнены в виде отрезков высокочастотной полосковой линии с волновым сопротивлением  $Z_B$  составляющим 180 Ом. Односторонняя печатная плата выполнена на материале ФАФ-4 толщиной 1,5 мм, которая помещена в экранирующий корпус высотой 25 мм [4].

Результаты моделирования характеристик в системе [5] при перестройке полосового фильтра на половину полосы пропускания приведены на рис. 2, где изменение  $S[2,1]$  – модуля коэффициента передачи при управлении емкостью варикапа на  $\pm \Delta C$  характеризует паразитную амплитудную модуляцию. На рис. 3 представлено изменение коэффициента стоячей волны  $VSWR[1]$  при тех же условиях. Графики (рис. 4) определяют частотную зависимость дифференциального фазового сдвига, где  $\text{Ang}(S[2,1])$  аргумент комплексного коэффициента передачи, соответствующий одному из двух значений емкости варикапа.

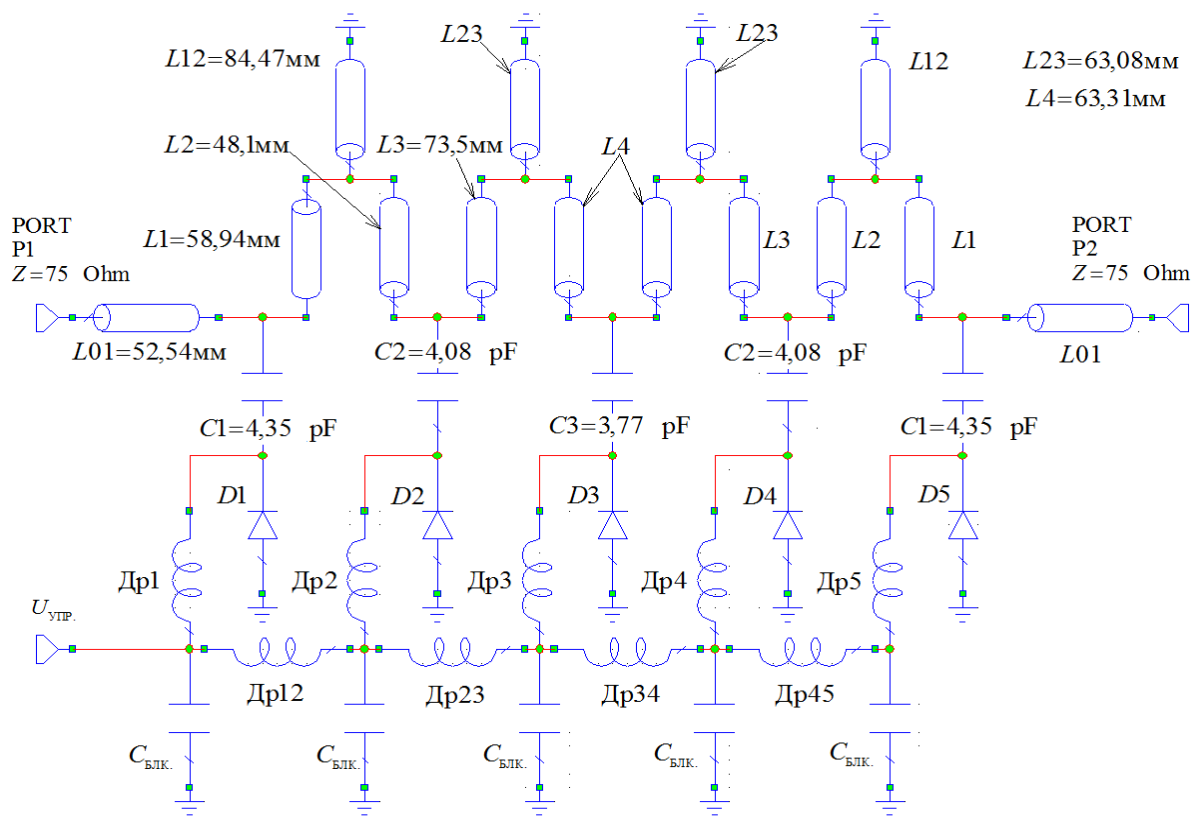


Рис. 1. Аналоговый проходной фазовращатель (перестраиваемый полосовой фильтр)

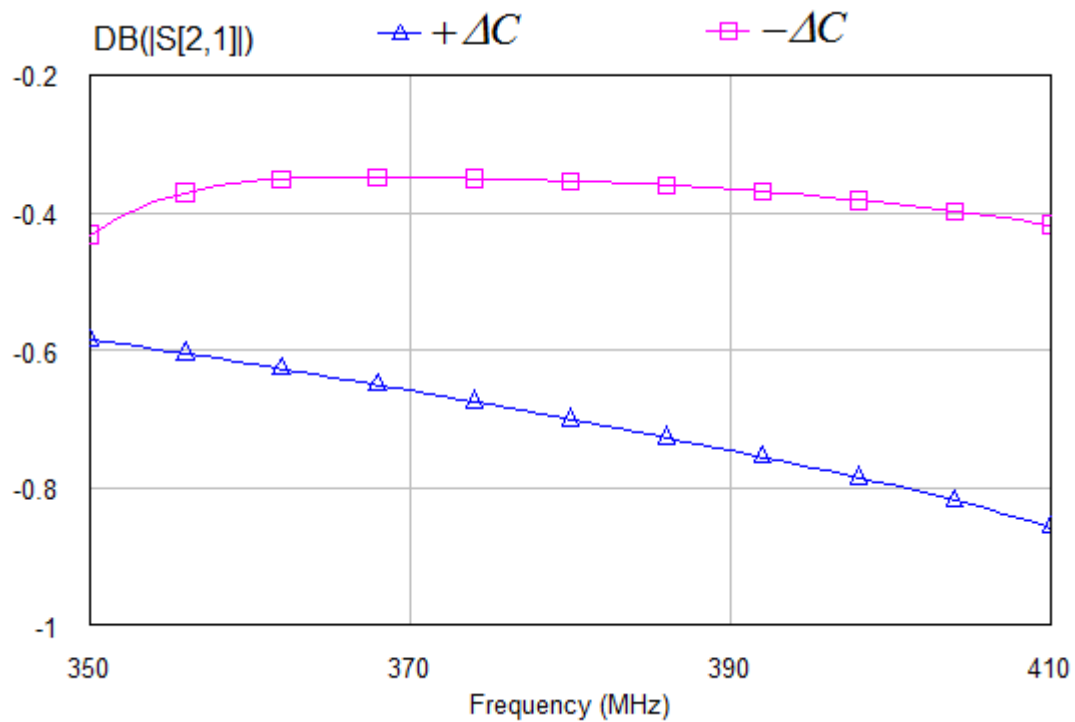


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента передачи ФВ при изменении емкости варикапа на  $\pm\Delta C$

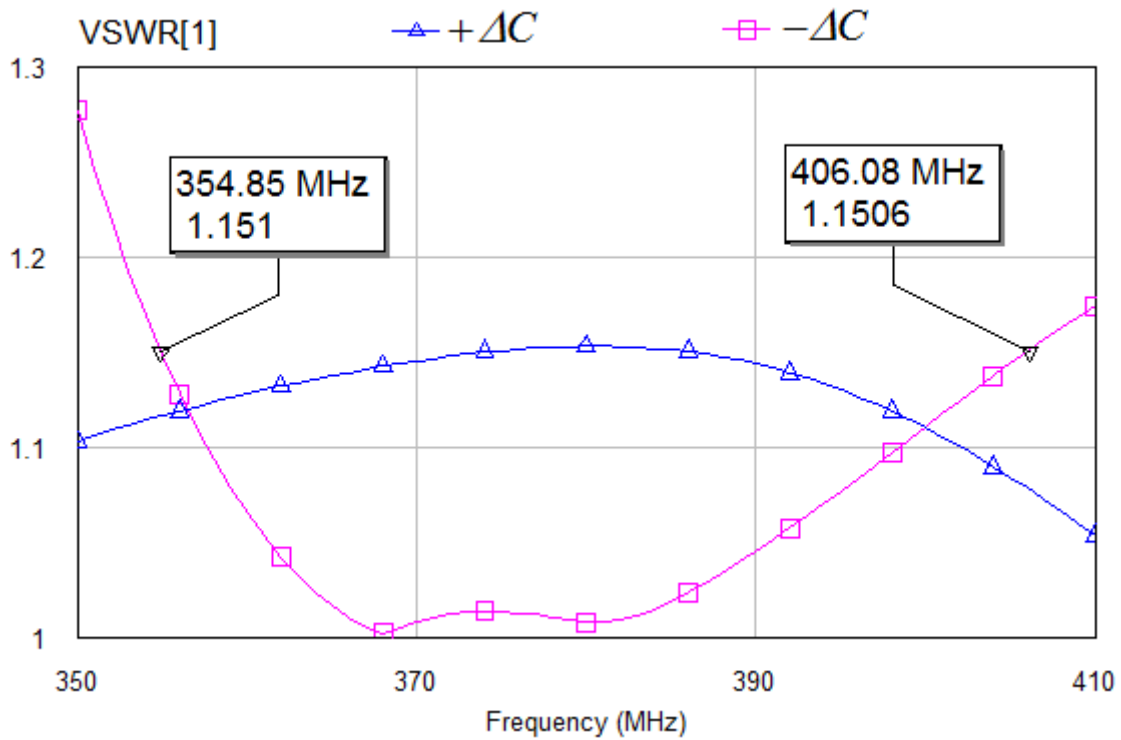


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициента стоячей волны ФВ при изменении емкости варикапа на  $\pm\Delta C$

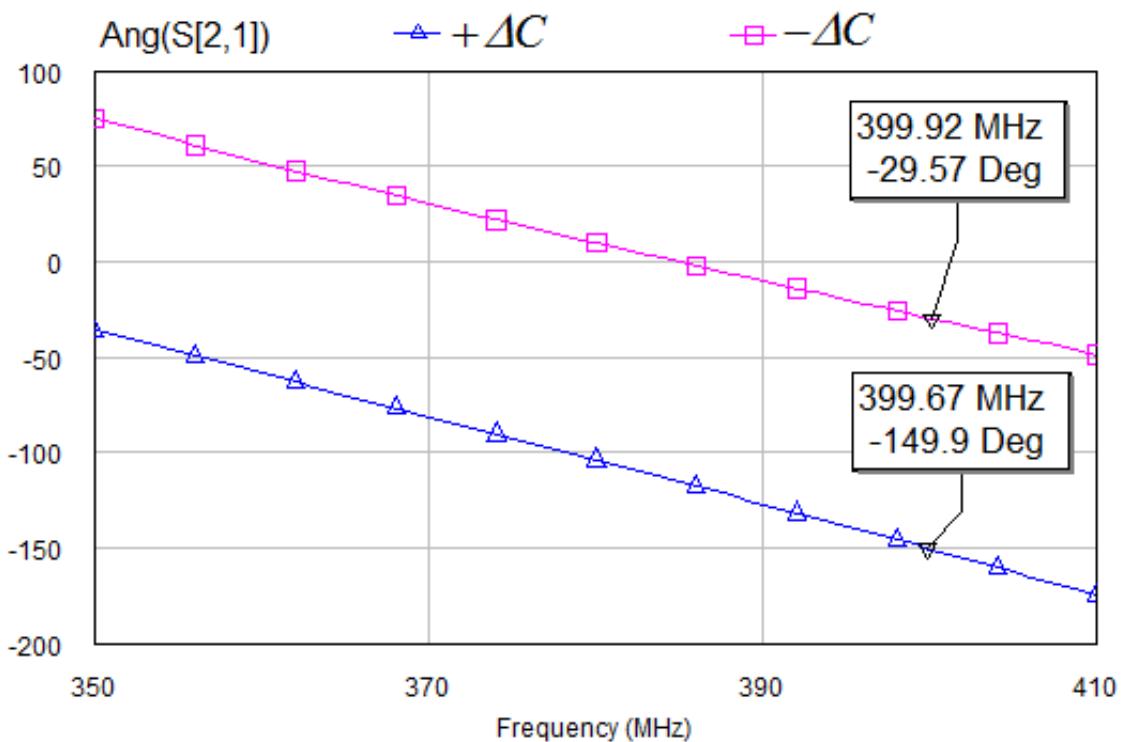


Рис.4. Частотные зависимости дифференциального фазового сдвига ФВ при изменении емкости варикапа на  $\pm\Delta C$

## *Заключение*

Разработанный аналоговый ФВ обеспечил управление фазой от  $0^\circ$  до  $120^\circ$ , при этом мощность высокочастотного сигнала  $P_{\sim}$  достигала 60 Вт. Паразитная амплитудная модуляция не превысила 1 дБ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Знаменский А.Е., Попов Е.С. Перестраиваемые электрические фильтры. – М.: Связь, 1979. – 129 с.
2. Ханзел Г.Е. Справочник по расчету фильтров. Пер. с англ. /под ред. А.Е. Знаменского. – М. : Сов. радио, 1974. –288 с.
3. Алексеев Л.В., Знаменский А.Е., Лоткова Е.Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. – М.: Связь, 1976. – 280 с.
4. Аубакиров К.Я., Воронин М.Я., Кондратьева Т.А., Мищенко П.П., Сюткин В.Н. Проектирование широкополосных фильтров и фазовращателей ДЦВ с помощью ЭВМ. Межвуз. сборник «Широкополосные устройства СВЧ и системы оптимальной обработки сигналов», вып. 3, НЭТИ, Новосибирск, 1978.
5. Разевиг В.Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин.- М.: СОЛОН- Пресс, 2003.- 496 с.

© К. Я. Аубакиров, А. В. Макеев, 2020