

Широкополосный программируемый дискретный фазовращатель С-диапазона

Кищинский А.А., Поляков Г.Б., Радченко А.В.

АО «Микроволновые системы»

г. Москва, 105120, Российская Федерация, ул. Нижняя Сыромятническая, 11
ak@mwsystems.ru

Аннотация: Рассматривается конструкция модуля широкополосного дискретного фазовращателя С-диапазона с перекрытием по частоте 2:1, обеспечивающего возможность управления фазой сигнала от 0 до 354 градусов с шагом 6 градусов и минимальной паразитной амплитудной модуляцией. Показана структурная схема и конструкция модуля, рассмотрен принцип работы и калибровки фазовых состояний.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты, дискретный векторный фазовращатель, автоматизация векторной калибровки.

1. Введение

Современные активные фазированные антенные решетки (АФАР) состоят из сотен, а иногда и тысяч приемо-передающих каналов, в состав которых входят выходные усилители мощности, малозумящие усилители, устройства защиты, аттенюаторы и фазовращатели. Фазовращатель является одним из ключевых элементов построения АФАР. В ряде применений, к нему, в числе важнейших, предъявляются требования широкой полосы рабочих частот и высокой точности установки фазовых состояний.

2. Конструкция разработанного модуля

На рис. 1 показана структурная схема разработанного модуля.

Фазовращатель построен по принципу векторного суммирования парциальных квадратурных сигналов с помощью цифровых аттенюаторов и двух балансных фазовых модуляторов. В состав модуля входят:

- узел контроля уровня входного сигнала и квадратурный делитель (ДКД) для исходного разделения сигнала на две парциальные составляющие со сдвигом 90 градусов;
- два балансных фазовых модулятора (БФМ), позволяющих осуществлять фазовый сдвиг сигнала 0/180 градусов;

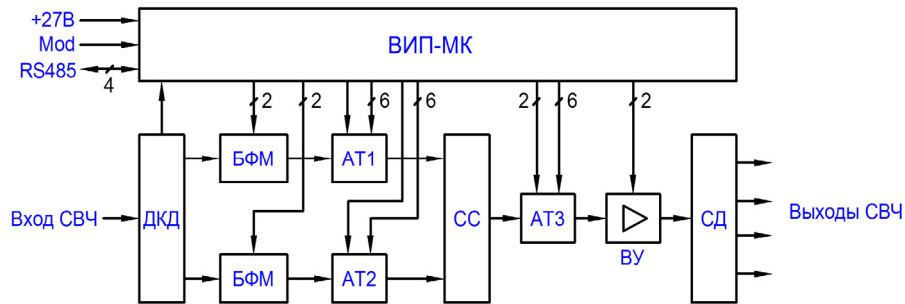


Рис 1. Структурная схема широкополосного дискретного фазовращателя

– два фазостабильных 6-разрядных цифровых аттенуатора (АТ1 и АТ2) с минимальным дискретом 0,5 дБ и максимальным ослаблением 31 дБ, позволяющие вносить требуемое ослабление каждой парциальной составляющей сигнала;

– синфазный сумматор мощности (СС), который осуществляет суммирование парциальных составляющих сигнала;

– выходной цифровой аттенуатор (АТ3), позволяющий пользователю задавать через команды управления модулем значение общего ослабления от 0 до 16 дБ;

– выходной усилитель (ВУ), необходимый для компенсации потерь в фазовращателе;

– выходной синфазный делитель мощности (СД) с высокой развязкой (более 20 дБ) между выходными плечами и неидентичностью каналов не хуже 0,5 дБ.

– узел питания и управления (ВИП-МК), который служит для формирования напряжений питания модуля и их стабилизации. Также в узле установлен микроконтроллер, принимающий от компьютера по 4-х проводному дуплексному каналу связи RS-485 команды управления и микросхемы памяти с возможностью хранения откалиброванных фазовых состояний.

На рис. 2 показана фотография части СВЧ-отсека модуля, отвечающей за формирование фазовых состояний. Габаритные размеры модуля составляют 180 x 104 x 23 мм³. Модуль имеет герметичное исполнение в корпусе из алюминиевого сплава, а узлы выполнены по гибридно-интегральной технологии.

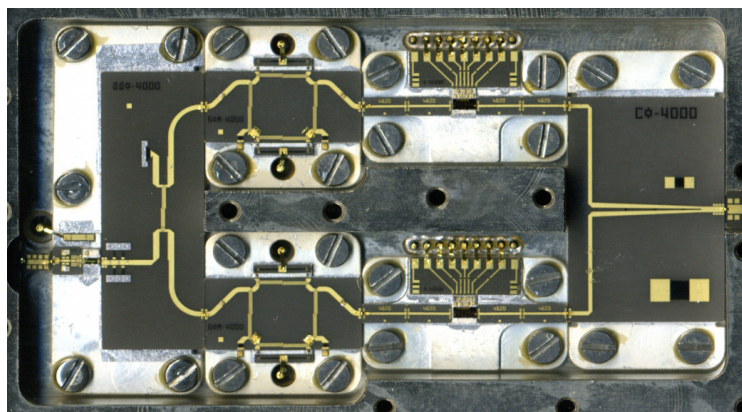


Рис 2. Фотография части СВЧ-отсека макета широкополосного дискретного фазовращателя, отвечающей за формирование заданного сдвига фазы

3. Принцип работы фазовращателя и методы калибровки

Фазовращатель работает по принципу векторного сложения парциальных составляющих сигнала. Исходный сигнал делится на две равные составляющие с фазовым сдвигом в 90 градусов при помощи квадратурного моста. Угол наклона θ в диапазоне от 0 до 90 градусов определяется ослаблением, вносимым аттенюаторами АТ1 и АТ2, а сектор определяется текущим положением балансных фазовых модуляторов [1], осуществляющих сдвиг фазы разделенных сигналов в каждом канале либо на 0, либо на 180 градусов (см. рис. 3).

Для калибровки фазовых состояний использовался векторный анализатор цепей Agilent E5071C и специализированное программное обеспечение, разработанное в АО «Микроволновые системы». Для связи с модулем использовался канал связи RS-485 и специальные команды управления, отправляемые с компьютера. Рабочий диапазон прибора разбивался на десять частотных поддиапазонов. Калибровка производилась от 0 до 354 градусов с шагом 6 градусов. За нулевое состояние выбиралось значение нуля градусов в узлах БФМ и от 2 до 4 дБ ослабления в каждом из аттенюаторов (АТ1 и АТ2). Затем в каждом поддиапазоне производился подбор значений ослаблений аттенюаторов, при которых полученное значение сдвига фазы наиболее точно совпадает с заданным. При этом производился поиск решения с минимальным амплитудным изменением (не более 0,8 дБ) относительно принятого нулевого состояния.

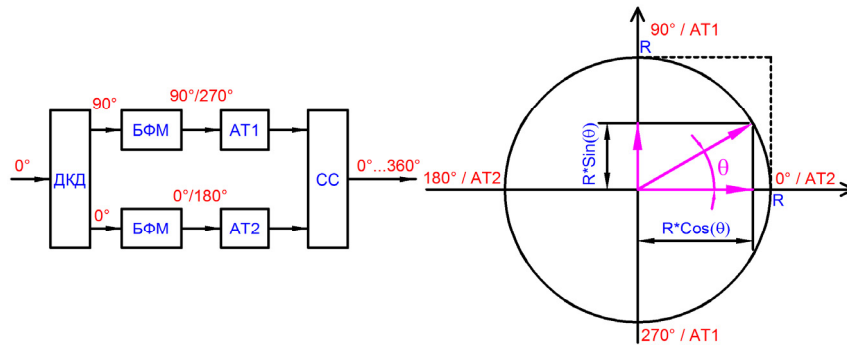


Рис 3. Схема векторного сложения парциальных составляющих сигнала

Алгоритм калибровки был написан таким образом, что начальные решения рассчитывались математически и проверялись в первую очередь: если решение оказывалось неверным, то использовался метод перебора, а также заимствования найденных решений из предыдущих шагов. Найденные откалиброванные состояния сохранялись в ПЗУ модуля. Полностью цикл калибровки всех состояний занимал не более 30 минут, а проверки сохраненных в памяти модуля – не более 1 минуты. При этом разработанное программное обеспечение позволяет сделать калибровку с различными начальными значениями ослаблений аттенюаторов и выбрать лучший результат.

Таким образом, были получены хорошие результаты по фазовым ошибкам (см. рис. 4), которые составили не более $\pm 2,7$ градуса, и значений отклонения амплитуды сигнала относительно нулевого состояния (см. рис. 5), которое составило не более 0,8 дБ во всех поддиапазонах.

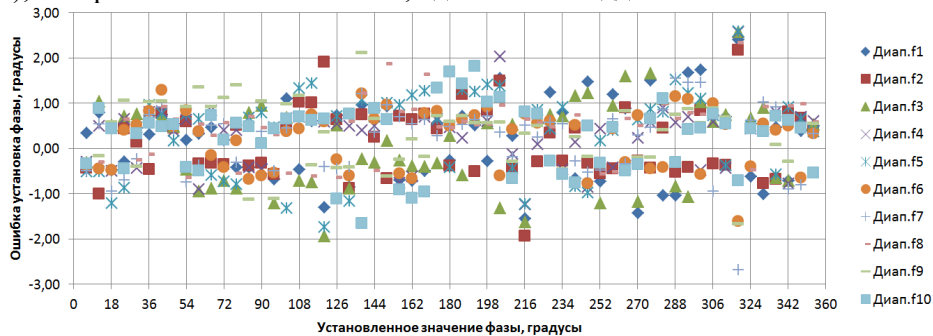


Рис 4. Типовая максимальная ошибка установленного значения фазы модулем относительно заданного значения

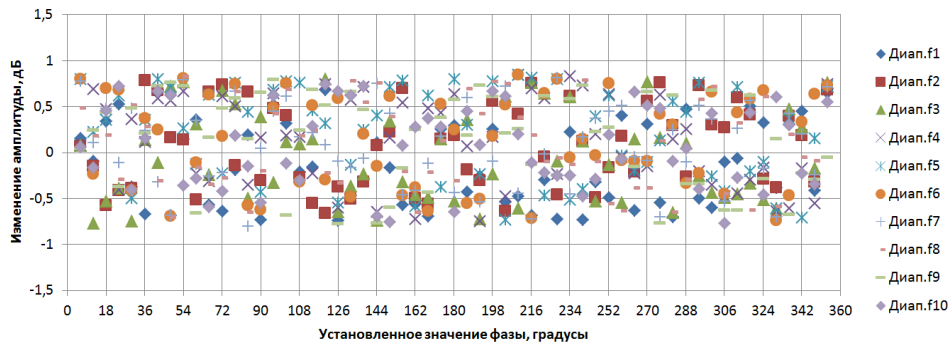


Рис 5. Типовое максимальное отклонение амплитуды сигнала при изменении его фазы относительно начального состояния модуля

4. Заключение

В работе показана конструкция разработанного широкополосного дискретного векторного фазовращателя СВЧ-сигнала, предназначенного для управления фазой и амплитудой сигнала в С-диапазоне с перекрытием по частоте 2:1, обеспечивающего возможность установки фазы сигнала от 0 до 354 градусов с шагом 6 градусов. Фазовращатель имеет высокие показатели по точности установки фазы (максимальная ошибка не более $\pm 2,7$ градусов) и амплитудной модуляции (не более $\pm 0,8$ дБ) относительно нулевого состояния в октавной полосе частот. Модуль имеет выходную линейную мощность не менее 10 мВт, коэффициент усиления 5-7 дБ с неравномерностью не более 1 дБ.

Список литературы

- [1] A.E. Ashtiani, T. Gokdemir, G. Passiopoulos, A.A. Rezazadeh, S.Nam, and I.D. Robertson, "Miniaturized Low Cost 30 GHz Monolithic Balanced BPSK and Vector Modulators: Part I // *Microwave J.*, vol. 42, no. 3, Mar. 1999, pp. 100-104.