

# Макет функционального узла векторного модулятора для четырехканального приемо-передающего модуля

Д.С. Кинденев, М.С. Карасев, Л.Е. Мишулин, А.С. Артемьев, В.А. Жерновенков, О.В. Зудин, Г.В. Быковский

АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина»

**Аннотация:** в работе представлен макет четырёхканального приемо-передающего модуля (ППМ) X диапазона, с возможностью управления амплитудой и фазой проходящего сигнала независимо в каждом из четырёх каналов. Макет построен на высокоинтегрированной микросхеме, что обеспечивает компактность и высокую эффективность устройства. Разработанный функциональный узел представляет собой готовую ячейку для построения активной фазированной антенной решётки (АФАР), способной служить базой системы управления роем (swarm) дронов. В работе описаны схемотехнические решения, использованные в составе узла, а также протокол сопряжения управляющих сигналов с внешней аппаратурой. Приведены результаты экспериментальных исследований и обозначены перспективы направления дальнейшего развития предложенного решения.

**Ключевые слова:** Приемо-передающий модуль, векторный модулятор, функциональный узел экспериментальное исследование.

## 1. Введение

В наше время применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА или дронов) становится все более массовым. Повсеместное внедрение заметно в разных отраслях: начиная от средств массовой информации (СМИ) и развлечения, кончая звеном логистики и оборонного комплекса. Поэтому к БПЛА предъявляют всё более высокие требования к надежности, помехозащищенности и эффективности управления группировками. Важнейшей задачей является обеспечение устойчивого канала связи и точного определения местоположения в условиях плотного электромагнитного спектра и преднамеренных помех.

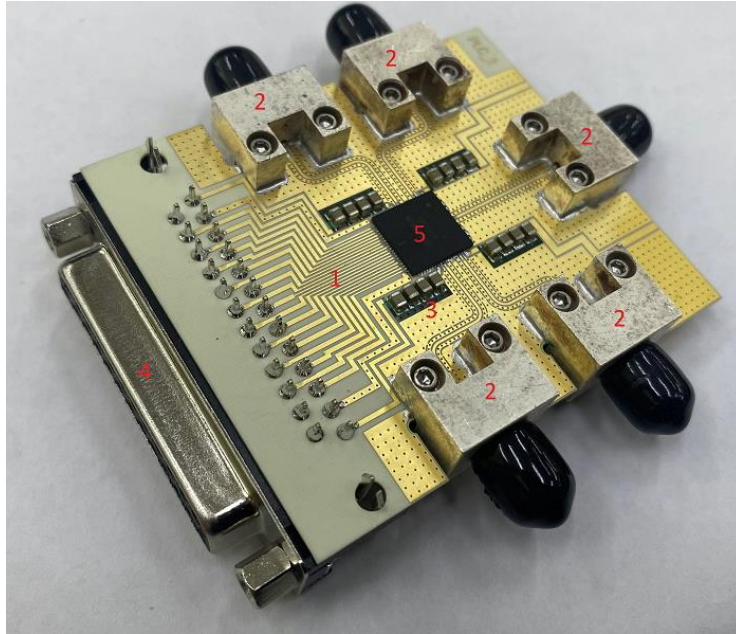
АФАР являются передовой технологией, позволяющей решить эти задачи.

Многоканальные приемо-передающие модули (ППМ) являются базовыми строительными блоками для создания таких АФАР. Их сердцем является векторный модулятор, который обеспечивает ключевую функциональность: точное управление амплитудой и фазой высокочастотного сигнала в каждом канале.

Целью данной работы является разработка и экспериментальное исследование макета функционального узла векторного модулятора, предназначенного для интеграции в четырехканальный приемо-передающий модуль АФАР.

## 2. Конструкция макета векторного модулятора X-диапазона

Конструкция макета векторного модулятора представлена на рис.1.



**Рисунок 1.** Конструкция макета векторного модулятора. 1- плата (материал FR-4); 2- розетка торцевая CON2A-29F; 3- конденсатор керамический 4.7 мкФ; 4- разъем DBR-25; 5- микросхема YFEN YCC32-0812SC1.

Базовым блоком для создания макета векторного модулятора является многоканальный чип. Из множества существующих доступных многоканальных решений наше внимание заострило на себе компания YFEN (Китай). Данная организация отвечает современным тенденциям технологического развития, применяет в своей продукции инновационные материалы такие как GaN, SiGe и имеет множество производственных площадок по всему миру, способных обеспечить потребителя необходимым объемом продукции.



**Рисунок 2.** Внешний вид многоканального чипа YFEN YCC32-0812SC1.

Основные характеристики многоканального чипа YFEN YCC32-0812SC1:

- Рабочее напряжение: 3,3 В
- Диапазон рабочих частот: 8-12 ГГц
- КСВН порта: < 2,2
- Кш: < 3дБ
- Входной сигнал: -24дБм

Также исследуемая нами микросхема имеет свою особенность в конструкции и управлении:

- Встроенная память;
- Возможность быстрого переключения между предустановками через внешний сигнал;
- Встроенная защита передающего канала;

- Два способа управления (последовательный (SPI) и последовательный синхронный);
- Возможность самотестирования;

### 3. Результаты экспериментальной проверки

Разработанное конструктивно-технологическое решение должно существенно снизить массогабаритные характеристики ППМ по сравнению с имеющимися аналогами на российском и зарубежном рынках.

В результате работы были изготовлены опытные образцы векторного модулятора для четырехканального ППМ. Следующим этапом нашего проекта было сборка измерительного стенда, написание программы измерения для персонального компьютера (ПК) и программирование устройства сопряжения (УС). В завершающей части нашего изучения мы смогли, состыковав наше оборудование, получить выходные параметры испытуемого векторного модулятора. Основные характеристики, приведенные на рисунках 3-5.

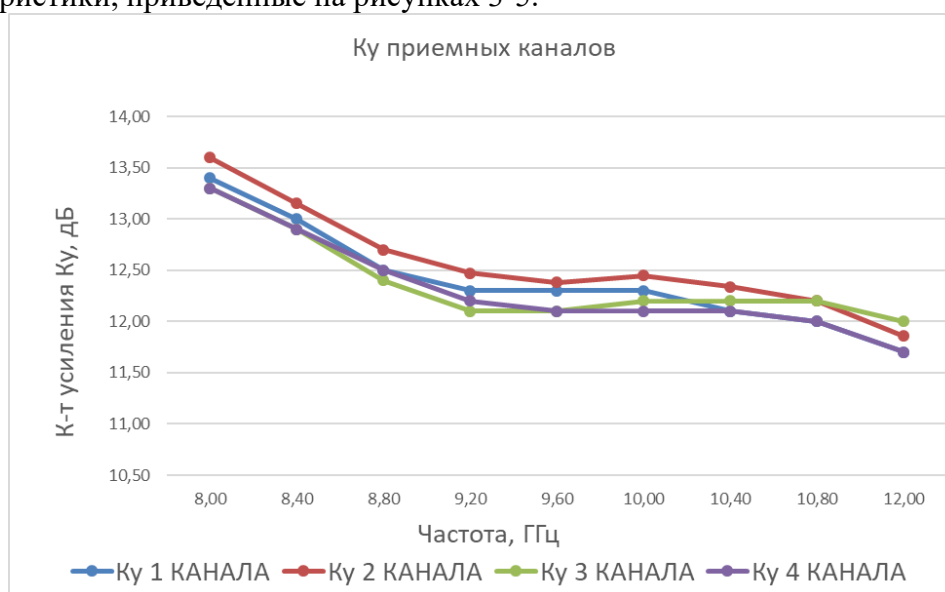


Рисунок 3. График коэффициента усиления приемных каналов векторного модулятора.

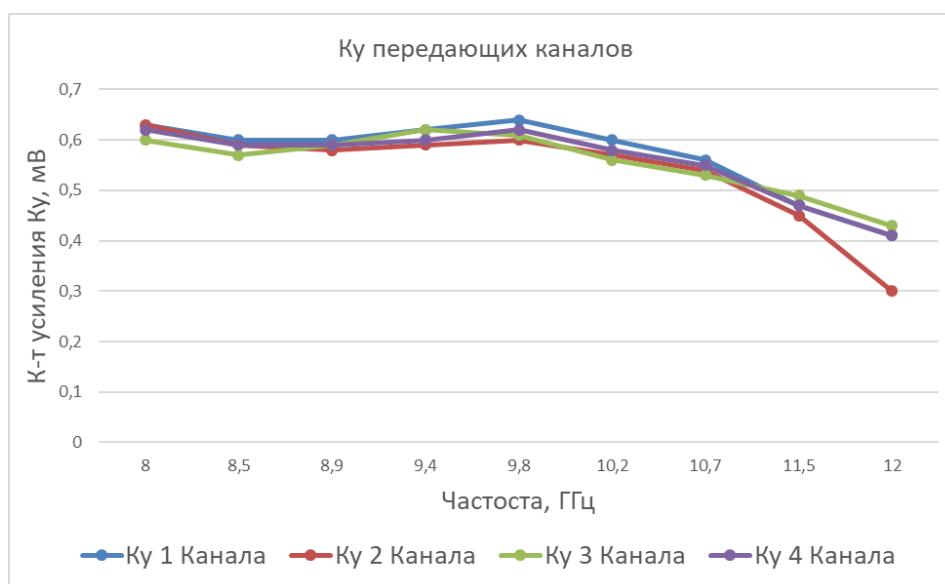


Рисунок 4. График коэффициента усиления передающих каналов векторного модулятора.

| К-т шума,<br>дБ | Развязка между<br>каналами, дБ | Среднее<br>квадратичное<br>отклонение<br>работы<br>аттенюаторов, дБ | Среднее<br>квадратичное<br>отклонение работы<br>фазовращателей, ° |
|-----------------|--------------------------------|---|---|
| 3,7             | 50                             | 0,3   | 3   |

Рисунок 5. Основные характеристики каналов векторного модулятора.

#### 4. Заключение

Результаты экспериментальной проверки разработанного макет функционального узла векторного модулятора для четырехканального приемо-передающего модуля X-диапазона частот подтверждают правильность принятых решений при разработке.

Перспективы дальнейшей работы будут заключаться в составлении рекомендации по алгоритмике управления векторным модулятором с применением чипа YFEN YCC32-0812SC1. Также в ближайших планах стоит цель разработать и исследовать многоканальный ППМ, состоящий из четырех связанных между собой микросхем компании YFEN.

#### Список литературы

1. Гостюхин В.Л. Активные фазированные антенные решетки / В.Л. Гостюхин, В.Н. Трусов, А.В. Гостюхин // Радиотехника. - 2011. - 304 с.
2. Малахов Р.Ю. Антенные решетки современных радиоэлектронных систем / Р.Ю. Малахов. - М.: Доброе слово. - 2015. - 208 с.