

# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНТЕННЫХ СИСТЕМ С АФАР.

## РЕШЕНИЕ КОМПАНИИ «ЛЕНИНГРАДСКИЕ МИКРОВОЛНЫ»

В статье представлен универсальный управляющий кристалл для приемопередающих модулей радиоэлектронных комплексов с АФАР в 3-см диапазоне длин волн, разработанный предприятием «Ленинградские микроволны».

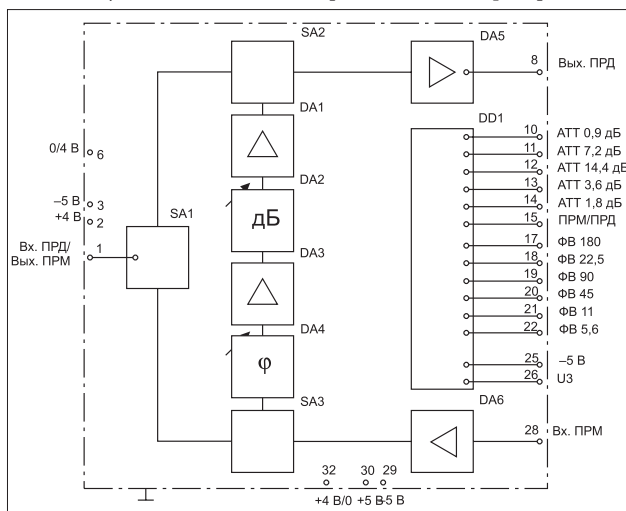
При ведении боевых действий в современных условиях предполагаемый противник будет оказывать, в том числе, противодействие и в радиоэлектронной войне. Это противодействие будет как пассивным, так и активным. Таким образом, радиотехническая обстановка в таких условиях будет характеризоваться быстро меняющейся радиосценой. Для эффективной работы радиоаппаратуры в этих условиях требуется разработать новые многофункциональные радиоэлектронные комплексы (РЭК), которые могли бы легко адаптироваться к конкретным условиям в окружающей помеховой ситуации. Также требуется значительное усовершенствование характеристик всех видов РЭК (бортовых, наземных) и радиосистем (локационных, связных, навигационных), находящихся в составе таких комплексов.

Одной из наиболее жизненно важных систем РЭК является антенный модуль, в значительной степени определяющий характеристики комплекса в целом (точность обнаружения и наведения, дальность действия, возможность многофункциональной работы в помеховых условиях). Для построения таких модулей в РЭК были внедрены активные фазированные

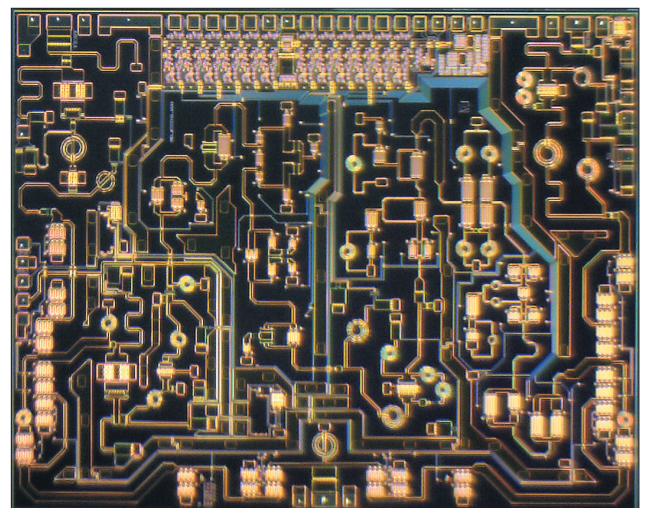
антенные решетки (АФАР) различного назначения, позволяющие эффективно решать многие задачи в реальном масштабе времени [1]. Основные преимущества антенных систем с АФАР детально рассмотрены в многочисленных источниках, перечислим их кратко:

- возможность сложения мощности элементов антенной решетки в пространстве;
- более высокая надежность и простота эксплуатации в сравнении с РЭК, передатчики которых построены на базе вакуумных приборов — ламп бегущей волны (ЛБВ) и клистронов;
- возможность работы в широкой полосе частот, адаптация к быстро меняющимся условиям сложной помехоцелевой обстановки.

Основными недостатками АФАР являются сложность и высокая стоимость по сравнению, например, с зеркальными антеннами. Эти проблемы частично решаются за счет применения электронной компонентной базы (ЭКБ) высокой степени интеграции при построении структурных элементов АФАР — приемопередающих модулей (ППМ).



▲ Рис. 1. Типовая схема УУК



▲ Рис. 2. Топология УУК ФРЦБ.434857.001

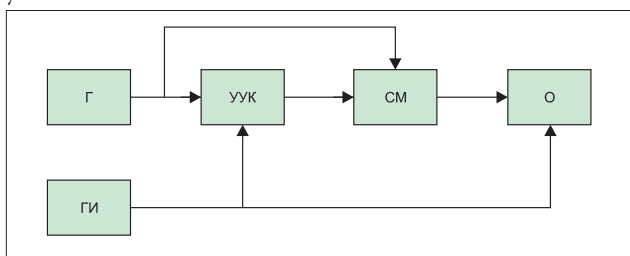
Таблица. Основные характеристики УУК ФРЦБ.434857.001

Параметр	Типовое значение
Рабочая полоса частот, ГГц	8,5–11
Коэффициент усиления приемного канала, дБ	20
Коэффициент усиления передающего канала, дБ	24
Выходная мощность сигнала в передающем канале (P1dB), дБм	22
Коэффициент шума в приемном канале, дБ	5,2
Шаг изменения фазы интегрированного 6-битного фазовращателя (0–360°), град.	5,625
Шаг изменения амплитуды интегрированного 5-битного аттенюатора (0–27,9 дБ), дБ	0,9
Размеры кристалла, мм	4,0×5,0×0,1

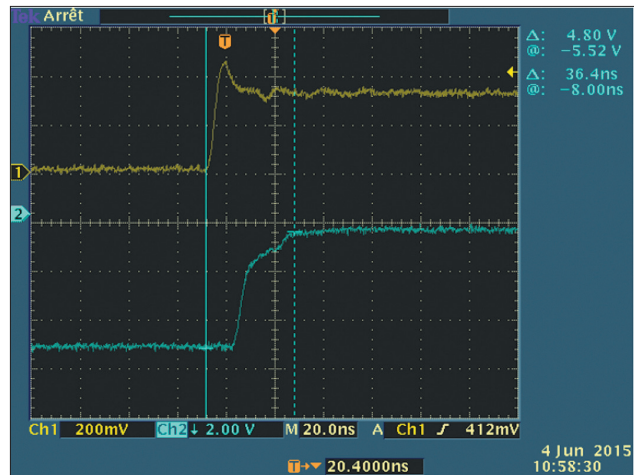
Функции управления амплитудой и фазой высокочастотного сигнала в ППМ АФАР в последние годы реализуются на основе универсального управляющего кристалла (УУК) или Core-Chip (рис. 1). В составе кристалла, кроме аттенюатора DA2 и фазовращателя DA4, реализованы компенсирующие усилители DA1, DA3, переключатели прием/передача SA1–SA3, выходной усилитель средней мощности DA5, входной малошумящий усилитель DA6 и цифровой интерфейс управления DD1. По подобной схеме реализованы широко известные продукты CHA3014 фирмы UMS (Франция) и XZ1002 фирмы M/A-COM (США). Аналогичные разработки проводились на отечественных предприятиях — НПП «Исток» им. Шокина и НПП «Микран». Усовершенствованный кристалл ФРЦБ.434857.001 разрабатывался компанией «Ленинградские микроволны». Его топология показана на рис. 2, а типовые характеристики приведены в таблице.

Специалистами предприятия был проведен ряд исследований и сделаны следующие выводы.

В ряде случаев выходной мощности УУК в режиме передачи не хватает для выходного усилителя мощности и требуется дополнительный каскад усиления. Показано, что при изменении номинала питающего напряжения выходного усилителя +4...+6 В выходная мощность возрастает в диапазоне 140–230 мВт, что исключает необходимость дополнительного усилителя.



▲ Рис. 3. Схема измерения времени переключения УУК



▲ Рис. 4. Время переключения амплитудного состояния УУК

Представляет интерес время переключения состояний управляющих устройств, реализованных в виде арсенид-галлиевых микросхем (ИС). На отдельные фазовращатели и аттенюаторы приводятся значения времени переключения порядка 1–10 нс. Введение цифровых управляющих интерфейсов в состав кристалла ИС изменяет этот параметр.

Проведена оценка времени смены амплитудных и фазовых состояний УУК по схеме, приведенной на рис. 3. Сигнал частотой 10 ГГц с высокочастотного генератора (Г) подавался на вход УУК и на один из входов высокочастотного смесителя (СМ), на второй вход которого подавался сигнал с выхода кристалла. Генератор импульсов (ГИ) управлял переключением амплитудных и фазовых состояний через встроенный цифровой интерфейс УУК. На осциллографе (О) Tektronix TDS3044 наблюдалась форма радиоимпульса на выходе смесителя. Время смены амплитудных состояний составило порядка 32–37 нс, а время смены фазовых состояний — 54–56 нс.

Введение цифровых управляющих интерфейсов в состав УУК значительно увеличивает время смены амплитудных и фазовых состояний, что необходимо учитывать при оценке быстродействия приемопередающих модулей.

Предложенный к рассмотрению УУК в основном повторяет характеристики упомянутого ранее зарубежного продукта фирмы M/A-COM и позволяет решать ряд задач, связанных с оптимизацией схемотехнических решений при построении ППМ АФАР, что подтверждается рядом конкретных работ, проведенных отечественными предприятиями. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Активные фазированные антенные решетки*/Под ред. Д.И. Воскресенского и А.П. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2004.
2. [www.lmwave.ru](http://www.lmwave.ru)