

Трехканальное приемное устройство РЛС миллиметрового диапазона длин волн

Я.В. Доминюк, В.Н. Мурзин, А.А. Толкачев

Приведены результаты разработки трехканального малошумящего приемного устройства с большим динамическим диапазоном входных сигналов для РЛС миллиметрового диапазона длин волн, включая структурную схему и экспериментальные данные.

The results of work on creating the three-channel low noise wide-dynamic input receiving device for millimeter-wave radar are given, including block diagram and test data.

Введение

Реализация энергетических возможностей больших радиолокационных станций (РЛС) в миллиметровом диапазоне длин волн в значительной степени определяется параметрами радиоприемного устройства, в первую очередь, чувствительностью и максимально допустимой мощностью на входе, а также конструктивным обликом, позволяющим разместить его в непосредственной близости к антенной системе с целью уменьшения потерь принимаемого сигнала [1].

Цель работы – привести результаты разработки трехканального малошумящего приемного устройства миллиметрового диапазона длин волн для РЛС с пассивной фазированной антенной решеткой (ФАР) [2]. Функциональные модули устройства пространственно распределены вокруг моноимпульсного облучателя ФАР таким образом, что входные модули устройства соединены непосредственно с выходами облучателя. Шумовая температура устройства составляет около 600 К. При этом обеспечивается динамический диапазон входных сигналов до 80 дБ, высокая избирательность по соседнему каналу и защита как от просачивающихся импульсов передающего устройства РЛС, так и от преднамеренных и случайных помех.

Структурная схема и конструктивное построение приемного устройства

Структурная схема приемного устройства приведена на рис. 1. В основу схемы положено модульное построение. Устройство содержит три идентичных по электрическим параметрам приемно-усилительных канала (суммы – Σ , азимутальный – $\Delta 1$ и угломестный – $\Delta 2$) с двойным преобразованием частоты входного сигнала. Каждый канал включает в себя защитное устройство (ЗУ), модуль высокой частоты (ВЧ), модуль промежуточной частоты (ПЧ), цифровую ячейку управления и ячейку электропитания. На рис. 2 приведена диаграмма уровней сигналов в каналах устройства, иллюстрирующая распределение усиления между функциональными узлами и динамический диапазон.

Задающее устройство представляет собой трехкаскадный ограничитель на базе бескорпусных балочных pin-диодов и детек-

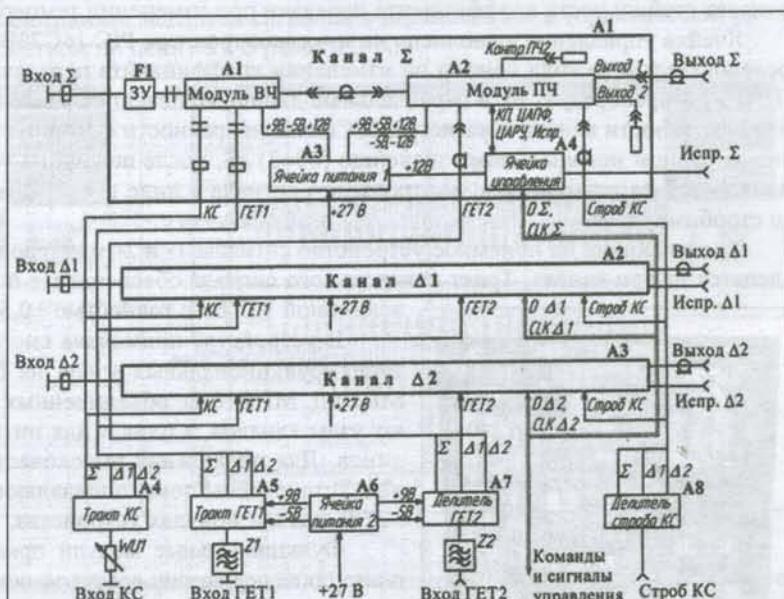


Рис. 1

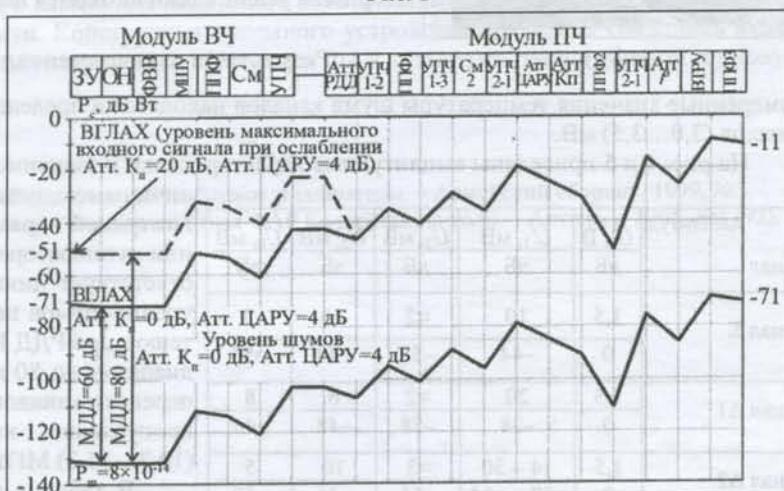


Рис. 2

торных диодов. Время восстановления при длительности импульсов (0,5...15) мкс не превышает (0,4...1) мкс. Максимально допустимая входная мощность 20 Вт, при этом на выходе обеспечивается мощность не более (10...20) мВт, что обеспечивает сохранение работоспособности малошумящих усилителей. Наибольшие трудности при изготовлении защитного устройства вызвали устранение теплового пробоя при больших длительностях импульсов и получение минимальных потерь в режиме слабого сигнала (не более 1 дБ).

В модуле ВЧ принимаемый сигнал усиливается малошумящим транзисторным усилителем (МШУ) и преобразуется на первую промежуточную частоту $f_{\text{ПЧ}1}$. Коеффициент передачи составляет 25 дБ. Перед МШУ установлен ферритовый волноводный вентиль с малыми потерями (0,1 дБ), обеспечивающий получение минимальных шумов в МШУ и работу защитного устройства на согласованную нагрузку. Для достижения максимального динамического диапазона смесителя к нему подводится мощность гетеродина величиной (13...18) мВт. Контрольный сигнал в канал подается через направленный ответвитель с переходным ослаблением 40 дБ.

В модуле ПЧ сигнал преобразуется на вторую промежуточную частоту $f_{\text{ПЧ}2}$ и усиливается в линейном режиме до величины на выходе не менее 80 мВт (напряжение 2 В). На входе модуля установлен аттенюатор расширения динамического диапазона (Атт РДД), увеличивающий верхнюю границу линейного усиления (ВГЛАХ) по входу с 10^{-7} до 10^{-5} Вт. Дискретный аттенюатор (Атт ЦАРУ) является исполнительным элементом цепи цифровой автоматической регулировки усиления по контрольному сигналу, вносит ослабление в пределах 0...7 дБ с дискретом 1 дБ и управляет поступающим на вход двоичным потенциальным 3-разрядным кодом с уровнями транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Изменение фазы проходящего сигнала при этом не превышает 6°. Номинальный коэффициент передачи каналов (60 дБ) обеспечивается при ослаблении 4 дБ. Термоаттенюатор (Атт t^0) обеспечивает стабильность коэффициента передачи при изменении температуры.

Ячейка управления выполнена на микроконтроллере PIC 16C73B-201/SP и осуществляет прием из магистрали последовательного кода команд об изменении коэффициента передачи (изменения ослабления аттенюаторов РДД и ЦАРУ) и преобразует их в параллельные двоичные потенциальные коды с уровнями ТТЛ, а также передачу сигнала исправности канала в магистраль. Сигнал исправности формируется в модуле ПЧ при коэффициенте передачи канала, равном номинальному значению (60 ± 3) дБ, после подачи на устройство питающего напряжения 27 В, сигналов 1- и 2-го гетеродинов, контрольного сигнала в виде импульсов длительностью 15 мкс и сопровождающего его стробимпульса.

Поступающие на приемное устройство сигналы 1- и 2-го гетеродинов мощностью около 10 мВт усиливаются и делятся на три канала. Тракт контрольного сигнала обеспечивает подачу на вход МШУ каждого канала сигнала величиной 10^{-8} Вт с точностью $\pm 0,5$ дБ.

В устройстве применена система распределенного вторичного электропитания функциональных узлов на базе модулей серии МП (МПВЗА, МПВЗВ, МПВ5Д, МПВ10Д), объединенных в корпусе ячейки питания: три ячейки питают узлы каналов, одна — для питания усилителей мощности 1- и 2-го гетеродинов. Для подавления высокочастотных помех, создаваемых модулями питания, установлены помехоподавляющие фильтры как на входе устройства в цепи +27 В, так и в модулях устройства.

Функциональные модули приемного устройства расположены на несущей плате по ее периферии вокруг моноимпульсного облучателя антенны (рис. 3). При этом защитные устройства и модули высокой частоты с малошумящими транзисторными усилителями находятся непосредственно у выходов облучателя.



Рис. 3

Результаты экспериментальных проверок

Измеренные значения температуры шума каналов находятся в пределах (540...640) К, а уровни шумов на выходах каналов (3,0...3,5) мВ.

На рис. 4 и 5 приведены амплитудные характеристики и зависимости коэффициентов передачи каналов от величины входного сигнала. Верхняя граница линейности амплитудной характеристики (ВГЛАХ) по входу при ослаблении аттенюатора РДД 0 дБ составляет более 10^{-7} Вт, что соответствует динамическому диапазону («мгновенному») от уровня шумов не менее 60 дБ. При введении ослабления аттенюатора РДД ВГЛАХ возрастает до 10^{-5} Вт (динамический диапазон до 80 дБ). Номинальные значения коэффициентов передачи каналов находятся в пределах (57...60) дБ. Полосы пропускания каналов по уровню минус 3 дБ равны (10,7...11,2) МГц, а по уровню минус 20 дБ — менее 15 МГц.

В таблице приведены значения паразитных импульсов сигналов на выходах каналов, обусловленных импульсами

Амплитуда Канал	U_1 , В	U'_1 , мВ	U_2 , мВ	U_3 , мВ	U_0 , мВ
	дБ	дБ	дБ	дБ	дБ
Канал Σ	1,5	10	≈ 2	10	5
	0	-44	-58	-44	-50
Канал $\Delta 1$	1,5	20	≈ 2	6	8
	0	-38	-58	-48	-46
Канал $\Delta 2$	1,5	14 - 30	≈ 3	10	5
	0	-37 -- -34	-54	-44	-50

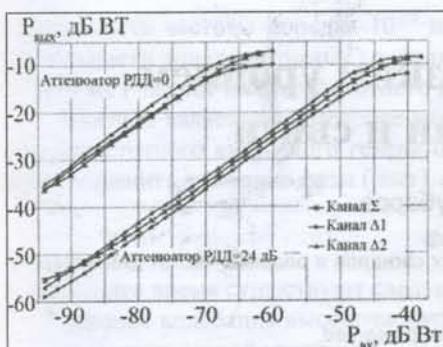


Рис. 4

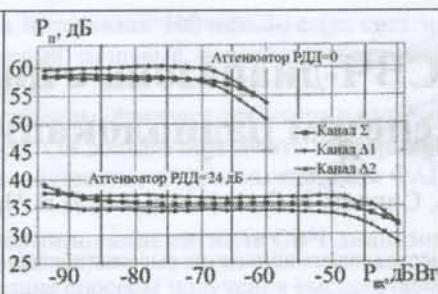


Рис. 5

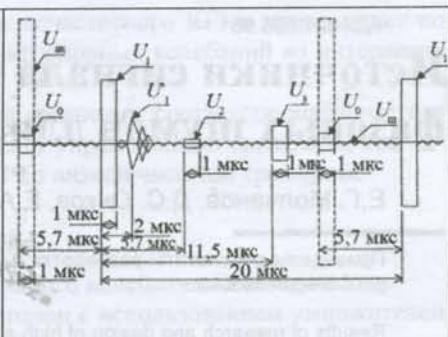


Рис. 6

тройного прохода фильтров на поверхностных акустических волнах (ПАВ), а на рис. 6 – их временная расстановка, при этом приняты следующие обозначения: U_{rx} – сигнал на входе фильтра ПАВ; U_0 – прямое прохождение сигнала U_{rx} со входа на выход фильтра (по поверхности пластины); U_1 – сигнал U_{rx} , прошедший через фильтр ПАВ; U'_1 – «дребезг» сигнала U_1 , зависящий от согласования фильтра (частоты сигнала); U_2 – отклик от U_0 ; U_3 – отклик от сигнала U_1 (импульс тройного прохода сигнала U_{rx}). На рис. 7 приведена осциллограмма задержки радиоимпульсов КС в приемных каналах по отношению к стробимпульсу, опережающему передний фронт радиоимпульса КС на входе устройства на 0,5 мкс, на рис. 8 – осциллограммы задержек сигналов в каналах $\Delta 1$ и Σ (практически, различие задержек равно 0). Ток потребления устройством по цепи +27 В равен 1,3 А.

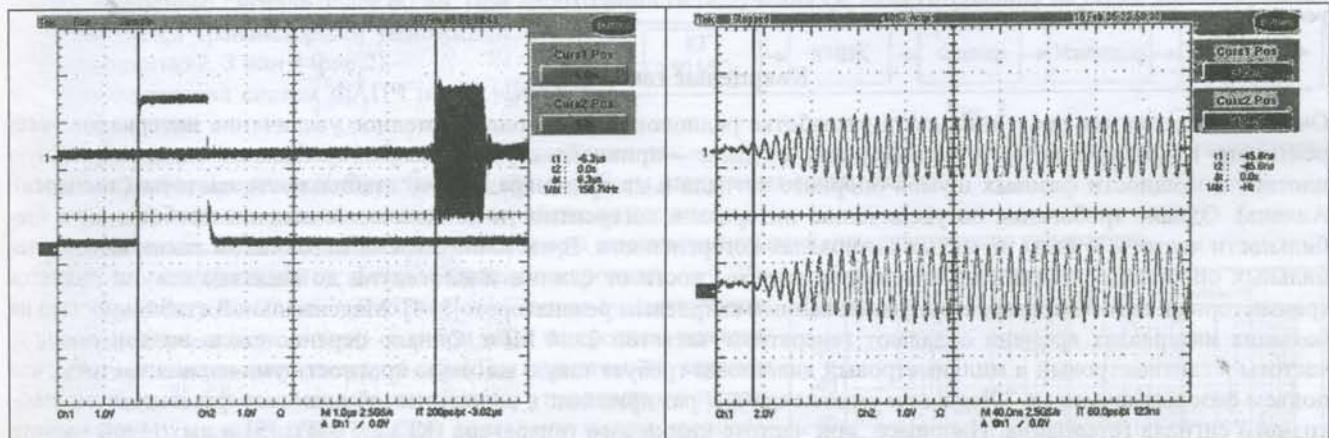


Рис. 7

Рис. 8

- Создано высокочувствительное (шумовая температура около 600 К) с большим динамическим диапазоном входных сигналов (80 дБ, в том числе мгновенный 60 дБ) трехканальное приемное устройство с функциональным контролем исправности каждого канала для подвижной РЛС миллиметрового диапазона длин волн с высоким уровнем излучаемой мощности. Конструкция приемного устройства позволила соединить входы каналов непосредственно с выходами моноимпульсного облучателя ФАР и понизить таким образом шумовую температуру РЛС.

Литература

- Толкачев А.А., Соловьев Г.К., Вейцель В.В. АО «Радиофизика»: Работают миллиметры. – Армейский сборник, 1999, №3.
- Денисенко В.В., Дубров Ю.Б., Корчемкин Ю.Б. и др. Многоэлементная ФАР Ка-диапазона волн. – Антенны, 2005, №1 (92).

Поступила 25 апреля 2006 г.