

УДК 621.376.4

## Разработка четырехканального приемопередающего модуля L-диапазона на основе GaN-технологии

СОКОЛОВ ИГОРЬ АЛЕКСЕЕВИЧ

Тел.: +7 (905) 509-45-66

sokoloff@niimp.ru

СКИЧКО ДЕНИС ЮРЬЕВИЧ

skichko@niimp.ru

ФУНДА ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ

fvn@niimp.ru

АО «НИИ микроприборов им. Г. Я. Гуськова»  
124460, Россия, г. Москва, ул. Конструктора  
Гуськова, д. 1, стр. 1  
Тел.: +7 (499) 762-48-20

**Аннотация.** Описаны основные этапы проектирования и изготовления приемо-передающего модуля L-диапазона на основе технологии GaN. Приведены результаты разработки, а также экспериментальные данные измерений. Сделан вывод о соответствии техническим требованиям.

**Ключевые слова:** приемопередающий модуль, L-диапазон, GaN.

### Введение

Тенденция повышения интеграции радиоэлектронных средств на современных летательных аппаратах приводит к комбинации радиолокационных систем, работающих в разных диапазонах частот. Помимо основной РЛС, работающей, как правило, в X-диапазоне, используется вспомогательная РЛС. В данной работе рассматривается процесс разработки четырехканального модуля приемопередающего усилительного (МППУ-Л) для активной фазированной антенной решетки L-диапазона.

Интенсивное развитие и внедрение современных высокочастотных полевых транзисторов на основе GaN позволило создать промышленные образцы приборов с рекордными значениями выходной мощности и эффективности, которые предполагается использовать в новейших наземных и бортовых радиосистемах связи и локации.

## GaN L-band transceiver module design and manufacture results

SOKOLOV IGOR ALEKSEYEVICH

Тел.: +7 (905) 509-45-66

sokoloff@niimp.ru

SKICHKO DENIS YURYEVICH

skichko@niimp.ru

FUNDA VLADIMIR NIKOLAEVICH

fvn@niimp.ru

JSC «Scientific Research Institute of Microdevices named after Guskov»

Тел.: +7 (499) 762-48-20

**Abstract.** The principal stages of GaN L-band transceiver module design and manufacture are presented. The design results and testing data are given. A conclusion about transponder compliance with requirements is made.

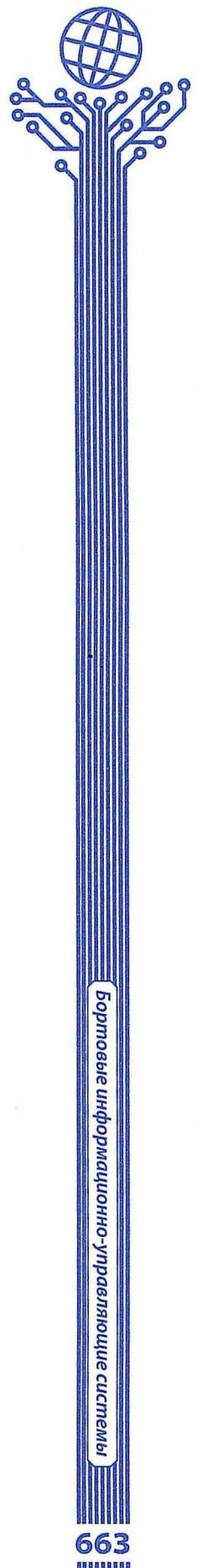
**Keywords:** transceiver module, L-band, GaN.

### 1. Требования к МППУ-Л

Основные технические требования, предъявляемые к приемным и передающим каналам МППУ-Х, представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1. Основные технические требования к приемным каналам

Наименование параметров	Технические требования
Диапазон частот, ГГц	1,2...1,6
Коэффициент шума, дБ	не более 3,5
Коэффициент передачи, дБ	34...40
Неравномерность коэффициента передачи в диапазоне рабочих частот, дБ	не более 2,0
Глубина регулировки коэффициента передачи, дБ	минус 15,5
Шаг регулировки коэффициента передачи, дБ	0,5
KCBH входа приемного канала	не более 2



## 2. Результаты разработки

Основная проблема при создании модуля заключалась в необходимости реализации высокоеффективных передающих каналов с суммарной выходной пиковой мощностью не менее 1600 Вт на четыре канала при полезном объеме модуля приблизительно 2,5 литра. При этом, помимо усиления входных радиоимпульсов до требуемого уровня с необходимым коэффициентом усиления, предъявляется не менее важное требование наименьшего искажения (ухудшения) спектральных, временных и шумовых характеристик входных радиоимпульсов. Применение полевых GaN-транзисторов в передающих каналах МППУ-Л позволило добиться выдающихся результатов в сравнении с применением биполярных кремниевых транзисторов: при одинаковой выходной импульсной мощности на канал порядка 500 Вт коэффициент полезного действия (КПД) увеличился с 25 до 50 процентов. Применение схемы амплитудной модуляции, основанной на изменении напряжения смещения на затворах транзисторов, позволило минимизировать временные искажения радиоимпульсов и сформировать требуемые фронты и спады выходных радиоимпульсов.

В результате разработки удалось реализовать модуль с внешними габаритами  $220 \times 200 \times 60$  мм и массой 4,1 кг (рис. 1 и 2).

Внешний вид приемного канала, реализованного на малошумящих GaAs-транзисторах (2 каскада) с коэффициентом шума не более 0,5 дБ, изображен на рис. 3.

Таблица 2. Основные технические требования к передающим каналам

Наименование параметров	Технические требования	Диапазон рабочих частот, ГГц
Выходная импульсная мощность, Вт	400...500	1,25...1,40
	400...460	1,45...1,55
Скол радиоимпульса, дБ	не более 0,6	1,25...1,40
	не более 0,3	1,45...1,55
Разброс выходной мощности между каналами, дБ	не более 0,5	1,25...1,55
Глубина ступенчатой электронной регулировки уровня выходной мощности, дБ	3	1,25...1,55
Длительности фронта радиоимпульса, нс	не более 150	1,25...1,55
Длительности спада радиоимпульса, нс	не более 150	1,25...1,55
KCBН по входу передающего канала	не более 1,5	1,25...1,55
КПД передающего канала, %	не менее 30	1,25...1,55

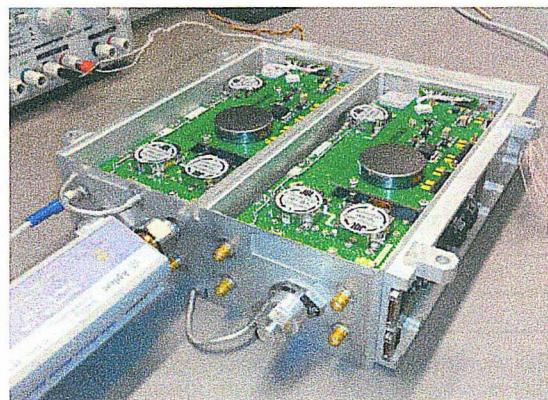


Рис. 2. Внешний вид МППУ-Л со снятыми крышками (2 канала)

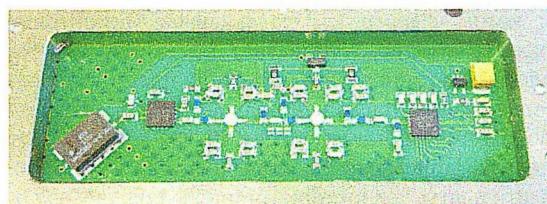


Рис. 3. Внешний вид приемного канала

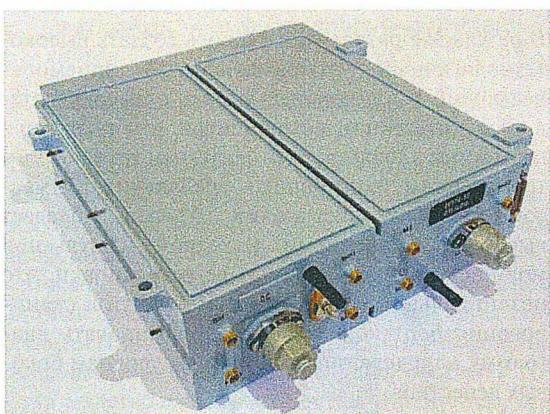


Рис. 1. Внешний вид МППУ-Л

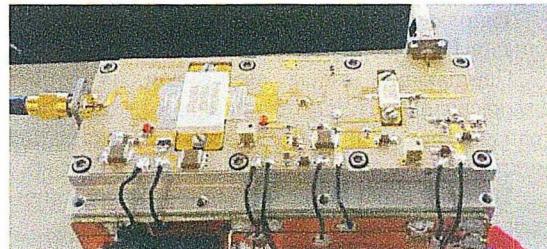


Рис. 4. Внешний вид микросборки усилителя мощности

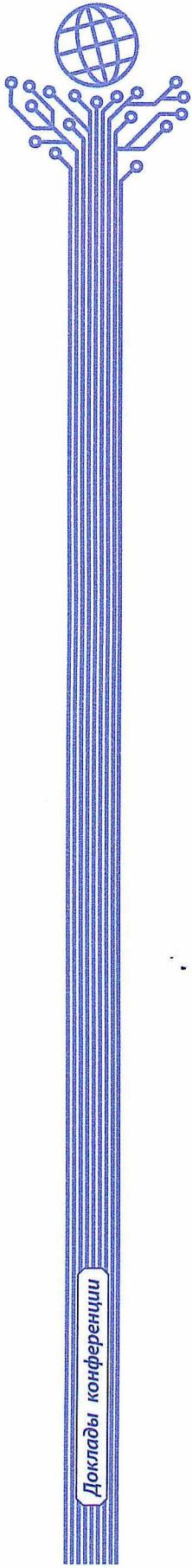


Таблица 3. Типовые характеристики приемных каналов модуля

f, ГГц	Канал 1		Канал 2		Канал 3		Канал 4	
	K <sub>пп</sub> , дБ	K <sub>п</sub> , дБ	K <sub>пп</sub> , дБ	K <sub>п</sub> , дБ	K <sub>пп</sub> , дБ	K <sub>п</sub> , дБ	K <sub>пп</sub> , дБ	K <sub>п</sub> , дБ
1,08	3,05	35,96	3,11	36,7	2,7	36,6	2,55	36,95
1,35	3,33	34,00	3,25	35,00	2,86	35,3	2,92	35,4
1,55	3,17	33,28	3,09	33,91	2,8	34,33	2,78	34,6

Таблица 4. Типовые характеристики микросборки усилителя мощности

F, ГГц	Рвх		Рвых		G, дБ	Скол, дБ	t <sub>ф</sub> , нс	t <sub>с</sub> , нс	I <sub>поп</sub> , А	КПД, %
	Вт	дБм	Вт	дБм						
1,25	2	33	550	57,4	25,4	0,4	39	12	2,19	50,2
1,35	2	33	598	57,9	25,9	0,3	32	12	2,13	56,15
1,40	2	33	568	57,6	25,6	0,2	32	12	1,9	59,78
1,55	2	33	570	57,5	25,5	0,1	30	15	0,23	61,95

Для частот 1,25–1,40 ГГц: длительность импульса 20 мкс, скважность 10.

Для частоты 1,55 ГГц: длительность импульса 0,7 мкс, скважность 80.

Таблица 5. Типовые характеристики передающего канала

Частота, ГГц	Уровень выходной импульсной мощности, Вт	Суммарный ток потребления (А) и значение КПД (%)	Длительность фронта импульса, нс	Длительность спада импульса, нс	Скос импульса, дБ
1,25	503	2,38 (42)	30	17	0,55
1,35	504	2,22 (45)	32	15	0,34
1,40	496	2,12 (47)	34	17	0,24
1,55	446	0,24 (47)	37	17	0,05

Для частот 1,25–1,40 ГГц: длительность импульса 20 мкс, скважность 10.

Для частоты 1,55 ГГц: длительность импульса 0,7 мкс, скважность 80.

Конструктивно приемный канал выполнен вместе с другими высокочастотными цепями и компонентами канала (включая ферритовые развязывающие устройства) на единой многослойной композитной печатной плате, устанавливаемой на отдельный поддон, в результате чего образуется единая высокочастотная микросборка канала. Приемный канал расположен на нижней части платы, так что при установке поддона в корпус модуля приемный канал оказывается полностью экранированным за счет локальной выборки в поддоне («спрятан в карман»).

Типовые характеристики четырех приемных каналов одного модуля приведены в табл. 3.

Передающий канал реализован на основе двухкаскадного усилителя мощности на GaN-транзисторах, выполненного в виде отдельной микросборки с размерами 120×45×6 мм (рис. 4).

Типовые характеристики микросборки усилителя мощности представлены ниже в табл. 4.

Наконец, типовые характеристики передающего канала в целом, измеренные на высокочастотном выходном разъеме модуля, приведены в табл. 5.

### Заключение

В результате разработки удалось создать высокотехнологичный четырехканальный приемопередающий усилительный модуль с высокой степенью интеграции компонентов, что позволило полностью удовлетворить заданным техническим требованиям и выполнить требования по масогабаритным показателям. Модуль обладает высокими значениями выходной импульсной мощности с возможностью ее регулировки, что потенциально позволяет расширить угол сканирования бортовой АФАР и сформировать диаграмму направленности с низким уровнем боковых лепестков.