

УДК 339.13

DOI 10.36845/2073-8250-2020-259-4-49-55

АНАЛИЗ РЫНКА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ: ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ С-ДИАПАЗОНА

И.Н. Сидорова, В.И. Шаломанов, В.В. Морозиков

*РТУ «МИРЭА», НТЦ «Твердотельная СВЧ-электроника»,
119454, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78*

В статье рассматривается состояние рынка твердотельных усилителей, работающих в диапазоне частот 0-6 ГГц, и перспективы его развития. Исследование опирается на публично доступные данные российских и иностранных производителей о присутствующих на рынке изделиях, а также данные основных торговых площадок, работающих в сегменте твердотельной электроники. Проведено исследование технических характеристик изделий российского и иностранного производства, включающее их сопоставление между собой и с известными экономическими показателями. Таким образом получено обоснование необходимости разработки нового усилителя мощности С-диапазона в виду недостатков существующих на рынке российских аналогов.

Ключевые слова: усилитель мощности, рыночный анализ, тактико-технические характеристики, выходная мощность, диапазон частот, технологический процесс, корпуса микроэлектронных приборов

Сведения об авторах: Сидорова Ирина Николаевна, sidorova@mirea.ru; Шаломанов Вячеслав Иванович, shalomanov@mirea.ru; Морозиков Валерий Валерьевич, mvvpost@bk.ru

MARKET ANALYSIS OF ELECTRONIC EQUIPMENT: SOLID-STATE C-BAND AMPLIFIERS

I.N. Sidorova, V.I. Shalomanov, V.V. Morozikov

*Science&Technology Center «Solid state UHF electronics»,
119454, Moscow, Prospekt Vernadskogo, 78*

Authors perform the research of solid-state power amplifiers, operating in 0-6 GHz band, current market state and its future perspectives. The research is based on information available to public, which describes technical and economical characteristics of existing devices. The information is gathered from companies-manufacturers and major online marketplaces. The comparison of technical and economical attributes for available devices is done then and the necessity for new power amplifier research is justified in view of existing disadvantages of amplifiers manufactured in Russia.

Keywords: power amplifier, market analysis, technical features, power output, frequency range, technological process, microelectronic equipment case

Authors: Sidorova Irina Nikolaevna, sidorova@mirea.ru; Shalomanov Vyacheslav Ivanovich, shalomanov@mirea.ru; Morozikov Valery Valeryevich, mvvpost@bk.ru

Усилители мощности исторически являются одними из основных компонентов СВЧ-систем, применяемых в радиолокации, радиосвязи, информационно-телекоммуникационных системах и т.д. От области применения зависят требования к техническим характеристикам СВЧ усилителей мощности. Например, изделия, применяемые в радиолокации, требуют высокой выходной мощности усилителя, а в радиосвязи ключевой характеристикой усилителя является ширина частотного диапазона.

В самом начале развития СВЧ-техники и СВЧ-технологий для создания усилителей в основном использовались электронные лампы, такие как клистроны, магнетроны или лампы бегущей и обратной волны. Стремительное развитие твердотельной электроники привело к замене электро-

вакуумных приборов на твердотельные. Полупроводниковые приборы обладают рядом преимуществ: надежность, возможность эксплуатации в неблагоприятных условиях, размер и стоимость.

Научно-технологический центр «Твердотельная СВЧ-электроника» РТУ МИРЭА (далее – НТЦ) занимается разработкой твердотельного усилителя мощности в диапазоне частот 0-4 ГГц, мощностью 140 мВт. В связи с проведением такой разработки требуется оценка текущего состояния рынка соответствующих приборов и перспективы его развития.

Для анализа рынка были подобраны приборы различных производителей, как отечественных, так и зарубежных. Параметры для анализа: диапазон частот, мощность и коэффициент шума [1,2].

Таблица 1

Усилители мощности на рынке

Наименование	Производитель	Диапазон частот	Выходная мощность	Тех. процесс	$K_{ш\max}$, дБм
1324УВ9У	АО «НПП «Пульсар» (Россия)	0-6 ГГц	120	GaAs ГБТ	3,9
1324УВ11У	АО «НПП «Пульсар» (Россия)	0-4 ГГц	280	GaAs pHEMT	3
HMC637ALP5E	Analog Devices (США)	0,1-6 ГГц	800	GaAs pHEMT	4
SPF5043Z	Qorvo (США)	0,04-4 ГГц	180	GaAs pHEMT	4
GRF2014	GuerillaRF (США)	0,05-3,8 ГГц	250	GaAs	3,5
PNA-102+	Mini Circuits (США)	0,05-6 ГГц	440	pHEMT	3,5
TQL9047	Qorvo (США)	0,05-4,2 ГГц	110	E-pHEMT	3,5
PGA-103+	Mini Circuits (США)	0,05-4 ГГц	120	E-pHEMT	3,5
Разрабатываемый усилитель	РТУ МИРЭА	0,05-4 ГГц	140	pHEMT	2,5

Из представленной таблицы видно, что на рынке представлены технические решения крупных американских компаний из отрасли электроники, а также микросхемы российского производства АО «НПП «Пульсар». Представленные на рынке продукты работают в различных диапазонах частот в границах 0 – 6 ГГц, при этом наиболее часто используемым является диапазон 0 – 4 ГГц. Продукция иностранного производства выгодно отличается от российских аналогов в первую очередь более высокими уровнями выходной мощности, что особенно актуально для передатчиков в радиолокации.

Перспективным направлением развития и технического совершенствования усилителей является снижение коэффициента шума. Это учтено и в требованиях, предъявляемых к разрабатываемому в НТЦ усилителю.

Дальнейший анализ сведений об устройствах, присутствующих на рынке, предполагает построение диаграммы ориентированности усилителей по коэффициенту

шума и выходной мощности для наглядной демонстрации различий тактико-технических характеристик известных моделей усилителей мощности [3,4].

На рис. 1 продемонстрированы различия между присутствующими на рынке усилителями мощности и усилителем мощности, разрабатываемым в НТЦ. Планируется достижение пониженного показателя по уровню шума в том числе за счет снижения коэффициента усиления.

Коэффициент усиления и ОИРЗ являются другими важными параметрами усилителей мощности, по которым необходимо провести сравнение.

В табл. 2 представлено сравнение известных усилителей мощности по коэффициенту усиления и ОИРЗ. Разрабатываемый в НТЦ усилитель мощности обладает наименьшим коэффициентом усиления среди изделий, представленных на рынке, что позволяет добиться снижения уровня шума и не ограничивает его применение в аппаратуре с соответствующими требованиями к коэффициенту усиления.

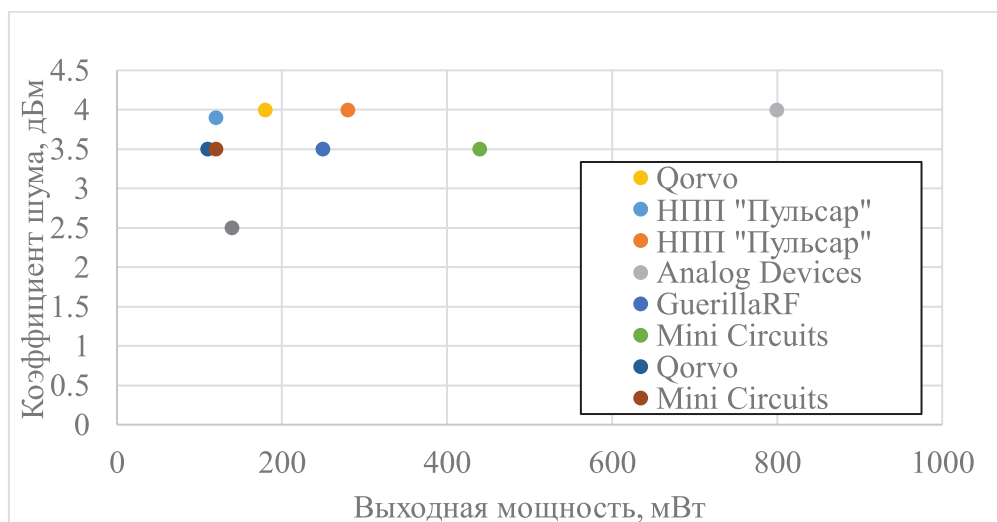


Рис. 1

Диаграмма ориентированности усилителей по коэффициенту шума и выходной мощности

Таблица 2

Сравнение усилителей по коэффициенту усиления и ОИРЗ

Наименование	Производитель	Коэффициент усиления, дБ	ОИРЗ, дБ
1324УВ9У	НПП «Пульсар»	22	30
1324УВ11У	НПП «Пульсар»	16,7	32
HMC637ALP5E	Analog Devices	13	44
SPF5043Z	Qorvo	18,2	33
GRF2014	GuerillaRF	15,9	43,5
PHA-102+	Mini Circuits	14,1	50
TQL9047	Qorvo	14,5	35,5
PGA-103+	Mini Circuits	15,5	35,6
	РТУ МИРЭА	12	47

Далее требуется сравнение стоимости представленных на рынке приборов. Необходимо отметить, что цена зависит от различных параметров электронных изделий, среди которых доминирует тип корпуса. Стоимость анализируемых приборов варьируется в пределах от 200 руб. до 50 000 руб.

В табл. 3 приведены сведения о корпусах данных усилителей.

Материал и тип корпуса играют первичную роль в формировании себестоимости усилителя мощности и, следовательно, его рыночной цены.

В табл. 4 приведено сравнение ценовых характеристик усилителей мощности, присутствующих на рынке [5]. Как видно из таблицы конкурентоспособная рыночная цена усилителей мощности для массового

Таблица 3

Сравнение усилителей по типам корпусов

Наименование	Производитель	Тех. процесс	Название корпуса	Материал корпуса
1324УВ9У	НПП «Пульсар»	GaAs ГБТ	КТ-47	Металл/Пластик
1324УВ11У	НПП «Пульсар»	GaAs pHEMT	5140.8-АН3	Керамика
HMC637ALP5E	Analog Devices	GaAs pHEMT	LFCSP	Керамика
SPF5043Z	Qorvo	GaAs pHEMT	SOT-343	Пластик
GRF2014	GuerillaRF	GaAs	DFN-6	Пластик
PHA-102+	Mini Circuits	pHEMT	SOT-89	Пластик
TQL9047	Qorvo	E-pHEMT	DFN	Пластик
PGA-103+	Mini Circuits	E-pHEMT	SOT-89	Пластик
	РТУ МИРЭА	pHEMT		Керамика

Таблица 4

Сравнение ценовых характеристик усилителей мощности

Наименование	Производитель	Тех. процесс	Стоимость, руб.
1324УВ9У	НПП «Пульсар»	GaAs ГБТ	26000
1324УВ11У	НПП «Пульсар»	GaAs pHEMT	5500
HMC637ALP5E	Analog Devices	GaAs pHEMT	9400
SPF5043Z	Qorvo	GaAs pHEMT	260
GRF2014	GuerillaRF	GaAs	260
PHA-102+	Mini Circuits	pHEMT	260
TQL9047	Qorvo	E-pHEMT	260
PGA-103+	Mini Circuits	E-pHEMT	260

применения составляет около 260 руб. Так же из таблицы следует, что изделия производства АО «НПП «Пульсар» и Analog Devices стоят в десятки раз дороже массового рыночного продукта, что обусловлено в первую очередь использованием дорогостоящих керамических и металлокерамических корпусов.

Популярность пластиковых корпусов на рынке обусловлена их относительно низкой стоимостью, что позволяет производителям экономить на издержках и предлагать конкурентоспособный по цене товар. Металлические и керамические корпуса значительно дороже пластиковых, но обладают рядом преимуществ, относящихся к параметрам стойкости и режимам эксплуатации. Благодаря повышенной стойкости к внешним воздействиям и повышенной надежности, электронные приборы в металлических и керамических корпусах чаще используются при производстве продукции военного, двойного и специального назначения.

В настоящее время силами НТЦ разрабатывается усилитель мощности С-диапазона. Разработка производится по схеме Дарлингтона.

Схема Дарлингтона это соединение транзисторов с параллельной отрицательной обратной связью по напряжению. Данная схема отличается малым сопротивлением и повышенным выходным напряжением на нагрузке. Эквивалентная схема усилителя Дарлингтона приведена на рис. 4, где VT1 и VT2 – транзисторы, R1 – цепь параллельной обратной связи между коллектором и базой первого транзистора, R2 и R3 – эмиттерные сопротивления.

Классические усилители по схеме Дарлингтона имеют узкую полосу по сравнению с распределенным усилителем. Это происходит из-за недостаточно фазированного сложения мощностей транзисторов. Первый транзистор задерживает сигнал, а второй усиливает уже задержанный сигнал. Ток коллектора второго транзистора больше тока первого, поэтому первый транзистор используется не полностью, и не усиливает достаточно сигнал.

Для улучшения равномерности коэффициента усиления и увеличения диапазона рабочих частот необходимо обеспечить широкополосное согласование

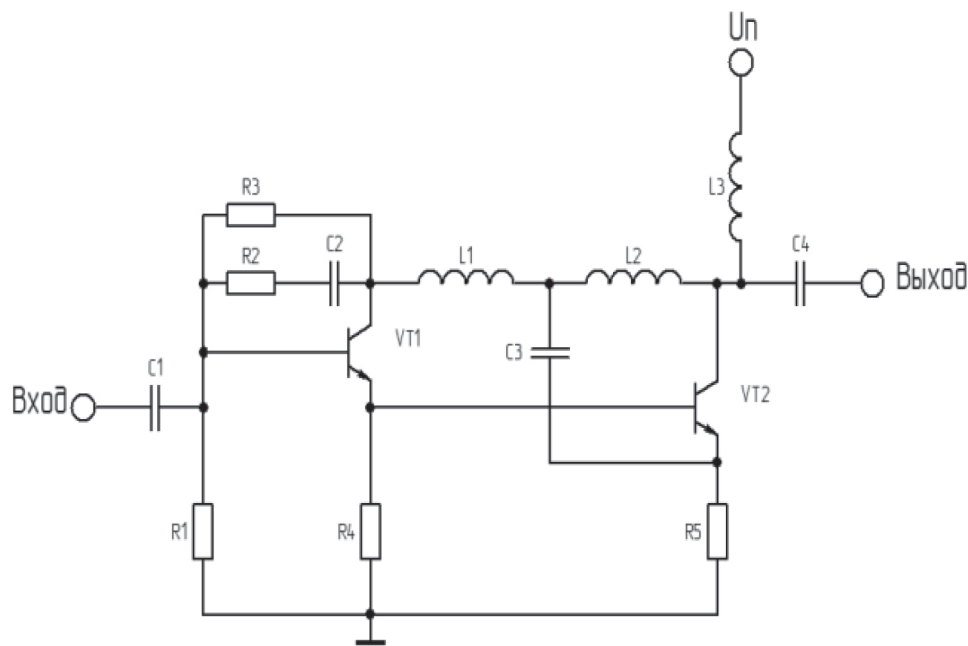


Рис. 2

Усилитель Дарлингтона с T-образным ФНЧ

параллельной обратной связью по напряжению. Помимо улучшения согласования можно добавить в схему, представленную на рис. 2, T-образный фильтр нижних частот L1, L2, C3.

Фильтр обеспечивает синфазное суммирование сигналов от обоих транзисторов и выравнивает задержки сигналов по каналам. Дополнительный конденсатор C3 является форсирующим элементом для транзистора VT2, что позволяет увеличить

напряжение на выходе усилителя по мере роста частоты.

Разрабатываемый в НТЦ усилитель мощности С-диапазона выдерживает сравнение с имеющимися на рынке аналогами по основным электро-техническим характеристикам и предлагает пониженный коэффициент шума в качестве конкурентного преимущества. Важно отметить, что разработка ориентирована на производство усилителей мощности в России, без

Таблица 5

Характеристики разрабатываемого широкополосного усилителя мощности

Параметр	Обозначение	Требования ТЗ
Диапазон рабочих частот, ГГц	Δf	0,05-4
Коэффициент усиления в диапазоне рабочих частот, дБ	K_y	>12
Неравномерность коэффициента усиления, дБ	ΔK_y	2
Выходная мощность, мВт	$P_{\text{вых}}$	>140
Коэффициент шума, дБ	$K_{\text{ш}}$	<2,5
Точка пересечения интермодуляционных искажений третьего порядка по выходу, дБм	OIP3	>47

обращения к услугам foundry-фабрик, что в совокупности с использованием металлокерамических корпусов, позволит в перспективе применять разрабатываемый усилитель в аппаратуре военного, двойного и специального назначения.

В табл. 5 приведены основные характеристики разрабатываемого усилителя.

Анализ рынка СВЧ усилителей мощности С-диапазона продемонстрировал наличие незанятой рыночной ниши устройств с пониженным коэффициентом шума. Научно-технологическим центром «Твердотельная СВЧ-электроника» РТУ

МИРЭА ведётся разработка усилителя, способного занять вакантную рыночную нишу. Разработка ориентирована на российский рынок, на потребителей, занимающихся производством продукции военного, двойного и специального назначения, в связи с чем планируется использование керамических корпусов, а производство возможно будет организовать на отечественных фабриках. Таким образом разработка СВЧ широкополосного усилителя мощности С-диапазона является современной и востребованной рынком разработкой.

Литература

1. Полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pulsarnpp.ru/index.php/poluprovodnikovye-pribory-i-integralnye-mikroskhemy>, свободный – (23.10.2020).
2. Analog devices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.analog.com/ru/index.html>, свободный – (23.10.2020)
3. Qorvo products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.qorvo.com/products>, свободный – (20.10.2020).
4. All New Products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.minicircuits.com/products/ALL_PRODUCTS.html, свободный – (21.10.2020)
5. Усилители и преобразователи СВЧ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bukwa.narod.ru/begin-05.pdf>, свободный – (22.10.2020).

References

1. Poluprovodnikovyye pribory i integral'nyye mikroskhemy [Semiconductor devices and integrated circuits], available at: <http://pulsarnpp.ru/index.php/poluprovodnikovye-pribory-i-integralnye-mikroskhemy>, accessed 23 Oct 2020.
2. Analog Devices, official web-page, available at: <https://www.analog.com/ru/index.html>, accessed 23 Oct 2020.
3. Qorvo, official web-page, available at: <https://www.qorvo.com/products>, accessed 20 Oct 2020.
4. Minicircuits, official web-page, available at: https://www.minicircuits.com/products/ALL_PRODUCTS.html, assessed 21 Oct 2020.
5. Usiliteli i preobrazovateli SVCH [Microwave amplifiers and converters], available at: <http://bukwa.narod.ru/begin-05.pdf>, assessed 22 Oct 2020.