

УДК 621.372.8

ВОЛНОВОДНЫЙ СУММАТОР СВЧ МОЩНОСТИ X-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

В. М. Миннебаев, Ал. В. Редька, А. В. Ушаков, М. А. Ушаков, А. В. Царев

АО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 27

В статье представлены результаты проектирования и изготовления волноводного сумматора, предназначенного для суммирования СВЧ сигнала высокого уровня мощности X-диапазона частот.

Ключевые слова: сумматор СВЧ сигнала, волновод, коаксиально-полосковый переход (КПП), коаксиально-волноводный переход (КВП), волноводная согласованная нагрузка

Сведения об авторах: Миннебаев Вадим Минхатович, к.т.н., minnebaev_vm@pulsarnpp.ru; Редька Алексей Владимирович, redka_av@pulsarnpp.ru; Ушаков Александр Васильевич, ushakov_av@pulsarnpp.ru; Ушаков Михаил Алексеевич, ushakov_ma@pulsarnpp.ru; Царев Александр Владимирович, tsarev@pulsarnpp.ru

X-BAND MICROWAVE WAVEGUIDE POWER COMBINER

V.M. Minnebaev, Al.V. Redka, A.V. Ushakov, M.A. Ushakov, A.V. Tsarev

S&PE «Pulsar» JSC, 105187, Moscow, Okruzhnoy pr., 27

Article contains the results of design and production of the waveguide combiner for X-band high-power microwave signal applications.

Keywords: microwave combiner, waveguide, coaxial-to-stripline transition, coaxial-to-waveguide transition, waveguide termination

Authors: Minnebaev Vadim Minkhatovich, Ph.D., minnebaev_vm@pulsarnpp.ru; Redka Aleksey Vladimirovich, redka_av@pulsarnpp.ru; Ushakov Aleksandr Vasilyevich, ushakov_av@pulsarnpp.ru; Ushakov Mikhail Alekseevich, ushakov_ma@pulsarnpp.ru; Tsarev Aleksandr Vladimirovich, tsarev@pulsarnpp.ru

Введение

Основным элементом, определяющим уровень выходной мощности радиолокационной системы, является выходной усилитель мощности (ВУМ), в состав которого входят мощные оконечные каскады усиления. Внедрение технологии производства нитрид-галлиевых СВЧ гетеротранзисторов на карбид-кремниевых подложках позволило увеличить уровень удельной выходной мощности транзистора, отнесенный к единичной ширине затвора, по сравнению с транзисторами на основе арсенида галлия. Таким образом, открылся обширный пласт возможностей для реализации радиолокационных систем нового поколения. Однако при разработке сложных функциональных блоков актуальным является вопрос суммирования мощностей порядка сотен ватт [1]. Как показано в [2],

замена микрополосковых сумматоров на волноводные позволяет, во-первых, увеличить уровень выходной мощности усилителя на 8-12 %, во-вторых, повысить надёжность устройства за счёт исключения микрополоскового сумматора, работающего в напряжённом тепловом режиме. В данной работе рассмотрен ещё один из вариантов волноводного сумматора СВЧ сигнала X-диапазона частот, обладающего меньшими потерями по сравнению с применяемыми ранее сумматорами на основе микрополосковых линий [1-4].

Постановка задачи

Разрабатываемый сумматор предназначен для суммирования СВЧ мощности, поступающей из двух каналов, в диапазоне частот 9.6-11 ГГц при уровне входной мощности каждого канала не менее 100 Вт. Сечение выходного СВЧ волновода составля-

ет $10 \times 23 \text{ мм}^2$. Дополнительные требования, предъявляемые к сумматору:

- сохранение работоспособности при рассогласовании по фазе между каналами на величину до 90 градусов;
- ограничения на геометрические размеры балластной камеры, обусловленные требованиями к изделию в целом.

Предъявленные требования осложняют процесс проектирования внутреннего объема камеры, предназначенной для суммирования СВЧ сигнала в X-диапазоне частот, поскольку входные коаксиально-волноводные переходы и согласующие элементы находятся на малом расстоянии по сравнению с расстоянием, необходимым для трансформации высших типов колебаний электромагнитной волны в основной тип.

Практический результат разработки волноводного сумматора

Первым этапом разработки сумматора является этап разработки широкополосного (с полосой рабочих частот порядка 15 %) коаксиально-волноводного перехода (КВП). Основными характеристиками таких переходов являются коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) и вносимые потери. При разработке КВП необходимо учитывать технологические допуски к изготовлению элементов, входящих в состав КВП, и его последующей сборки. Разработанный коаксиально-волноводный переход представляет собой герметичный металлостеклянный коаксиальный ввод, на который насажен специально разрабатываемый зонд, возбуждающий колебания электромагнитного поля в волноводе. Фиксация зонда на гермовводе осуществляется при помощи припоя.

Для проверки корректности работы КВП был разработан и изготовлен специализированный макетный образец, представляющий собой запаянный с двух сторон отрезок волновода сечением $10 \times 23 \text{ мм}^2$, на котором смонтированы два основания (рис. 1). Основание и волновод имеют соосные отверстия для монтажа КВП. После пайки гермоввода устанавливается коаксиально-полосковый переход, представляющий собой микрополосковую поликоровую плату с отверстием под центральный проводник гермоввода. Плата насаживается на центральный проводник и припаивается на основание, а затем производится распайка центрального проводника гермоввода в колодце микрополосковой платы и разъема на плату.

Длина участка волновода макетного образца подобрана таким образом, чтобы обеспечить затухание высших типов колебаний, образующихся на неоднородностях в виде КВП. При этом возбуждение основной моды СВЧ колебаний в волноводе и съём энергии происходят через систему разработанных КВП и КПП.



Рис. 1

Внешний вид макетного образца

Результаты измерения характеристик макетного образца приведены на рис. 2.

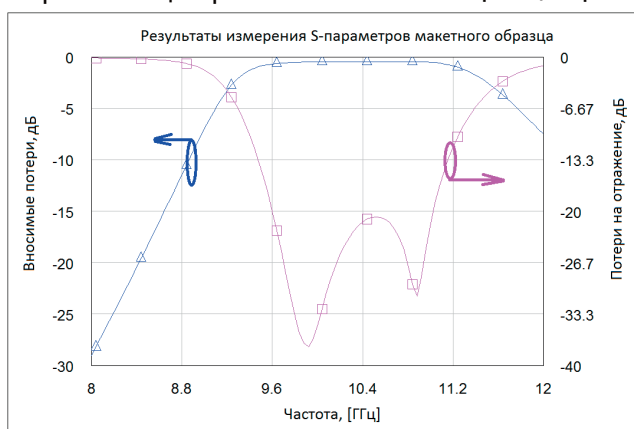


Рис. 2

Результаты измерений характеристик макетного образца

Как видно из рис. 2, полоса рабочих частот КВП определяется диапазоном 9.6-11 ГГц по уровню коэффициента отражения -20 дБ, что имеет высокую корреляцию с результатами компьютерного моделирования.

На следующем этапе разработки был спроектирован и изготовлен волноводный сумматор. Он представляет собой нагруженный на балластную нагрузку ортогональный волновод и согласующие элементы в виде штыря и диафрагмы.



Рис. 3
Внешний вид сумматора

Как известно, для обеспечения требования по работоспособности сумматора при разности фаз входных сигналов вплоть до 90 градусов необходимо применять согласованную нагрузку, поглощающую балластную мощность. Поскольку речь идёт о волно-

водном сумматоре, то логичным решением было бы применить волноводную согласованную нагрузку, к примеру, реализованную в виде волновода с ферритовым поглотителем клинообразной формы. Но для обеспечения коэффициента отражения согласованной нагрузки не хуже -25 дБ протяжённость волноводного поглотителя должна быть не менее трёх-пяти длин волн сигнала в волноводе. Такое соотношение ограничивает применение волноводных нагрузок, поскольку одним из дополнительных условий является жёстко фиксированный объём, отведённый под сумматор. Выходом из данной ситуации послужило расположение КВП и КПП на балластном звене сумматора, обеспечивающих возможность применения микрополосковой согласованной нагрузки.

В ходе оптимизации местоположения согласующих элементов, а также их формы были получены значения геометрических параметров камеры. Параметрическая устойчивость характеристик суммирующей камеры проверялась путём незначительных отклонений значений геометрических параметров порядка 50 - 200 мкм от оптимальных.

На рис. 4 приведены результаты измерений характеристик сумматора в диапазоне частот от 8 до 11 ГГц. Измерения производились при условии синфазного возбуждения портов. Видно, что суммирование сигнала происходит практически без дополнительных потерь ($L_{\text{доп}} < 0,2$ дБ).

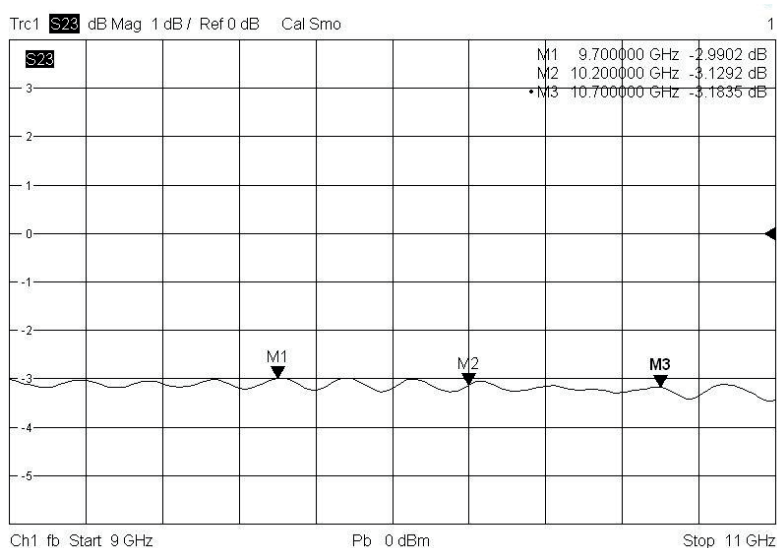


Рис. 4
Зависимость коэффициента передачи сумматора от частоты

На следующих этапах исследований запланировано проведение измерений коэффициента передачи сумматора в зависимости от разности фаз входных сигналов, а также испытания в составе усилителя мощности с применением мощных СВЧ GaN транзисторов.

Выводы

Разработанный малогабаритный сумматор X-диапазона с волноводным выходом обладает дополнительными вносимыми потерями на уровне менее 0,2 дБ в диапазоне частот 9.6-11 ГГц, что позволяет обеспечить увеличение выходной мощности усилителя на 12 % по сравнению с использованием микрополоскового сумматора.

Литература

1. Васильев А.Г., Колковский Ю.В., Миннебаев В.М., Глыбин А.А., Иванов К.А., Мещерякова К.С. Твердотельный нитридгаллиевый 500-ваттный импульсный усилитель мощности X-диапазона // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2011. – Вып. 1 (226). – С. 83-88.
2. Герасимов А. О., Синкевич В. Ф., Миннебаев В.М., Редька А.В. Импульсный усилитель мощности X-диапазона на GaN СВЧ транзисторах: опыт изготовления // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2012. – Вып. 1 (228). – С. 30-37.

3. Борисов О. В., Зубков А.М., Иванов К.А., Миннебаев В. М., Редька Ал. В. Широкополосный 70-ваттный GaN усилитель мощности X-диапазона // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2014. – Вып. 2 (223). – С. 4-10.
4. Борисов О. В., Иванов К. А., Колковский Ю. В., Миннебаев В. М., Редька Ал. В., Ушаков А. В. Фазостабильный 200-ваттный GaN усилитель мощности X-диапазона // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2013. – Вып. 1 (230). – С. 31-36.

References

1. Vasilyev A.G., Kolkovskiy Yu.V., Minnebaev V.M., Glybin A.A., Ivanov K.A., Meshcheryakova K.S. 500-W X-band pulsed solid-state GaN power amplifier. Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices. 2011. Issue 1 (226). pp.83-88.
2. Gerasimov A.O., Sinkevich V.F., Minnebaev V.M., Redka A.V. X-band pulsed microwave GaN HEMT power amplifier: manufacturing experience. Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices. 2012. Issue 1 (228). pp.30-37.
3. Borisov O.V., Zubkov A.M., Ivanov K.A., Minnebaev V.M., Redka Al.V. 70-W X-band wideband GaN power amplifier. Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices. 2014. Issue 2 (223). pp.4-10.
4. Borisov O.V., Ivanov K.A., Kolkovskiy Yu.V., Minnebaev V.M., Redka Al.V., Ushakov A.V. 200-W X-band phase-stable GaN power amplifier. Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices. 2013. Issue 1 (230). pp.31-36.