

*Мякинков В.Ю., Калинин А.С., Рудый Ю.Б.,
Ковтунов Д.А., Футьянов С.И., Смирнова А.С.
АО «НПП «Исток» имени А.И. Шокина*

Двухканальный приемопередающий модуль с импульсной мощностью канала более 1 Вт

Приведены результаты разработки твердотельного приемопередающего СВЧ модуля, работающего в импульсном режиме, с выходной мощностью более 1 Вт. Применение разработанного модуля позволит обеспечить эффективную работу перспективной аппаратуры в условиях помех. К особенностям разработанного модуля относятся малое время переключения, высокий уровень выходной импульсной мощности, трехпозиционное изменение чувствительности приемного тракта, компактность и небольшая масса. В модуле применена современная элементная база на основе гибридно-монолитных элементов, разработанных в АО «НПП «Исток» им. Шокина».

Ключевые слова: приемопередающий модуль, СВЧ, высокая выходная мощность.

Введение

Разработанный двухканальный передающий и четырехканальный приемный твердотельные СВЧ модули с импульсными выходной и входной мощностями позволит обеспечить эффективную работу перспективной аппаратуры в условиях помех.

По своим эксплуатационным характеристикам и конструктивному решению разработанный модуль находится на уровне зарубежных аналогов, прямые отечественные твердотельные аналоги с необходимой выходной мощностью, малыми габаритами и в заданном диапазоне частот не известны.

К особенностям разработанного модуля относятся малое время переключения, высокий уровень выходной импульсной мощности, трехпозиционное изменение чувствительности приемного тракта, компактность и небольшая масса.

На рис. 1 показан внешний вид разработанного приемопередающего твердотельного СВЧ модуля. Конструктивно приемопередающий модуль состоит из двух СВЧ модулей, расположенных на металлическом основании.

Передающий модуль СВЧ включает в себя источник вторичного электропитания, задающий СВЧ генератор, делитель мощности на два канала, вентили, усилители и выключатели с управляющими драйверами.

Приемный модуль СВЧ включает в себя источник вторичного электропитания, гетеродин, делитель мощности, смесители и четыре попарно работающих канала, состоящих из ограничителей мощности, маломощных усилителей, выключателей и аттенуаторов с управляющими драйверами.

Управляющие сигналы импульсной модуляции, переключения каналов, управления дискретными аттенуаторами подаются на приемопередающий модуль от внешнего источника.

Габаритные размеры приемопередающего СВЧ модуля 178,5×178,5×90 мм³. Вес модуля не более 3000 г.



Рис. 1. Внешний вид разработанного приемопередающего СВЧ модуля с импульсной выходной мощностью более 1 Вт.

Конструкция и электрические параметры передающего модуля СВЧ

Передающий модуль предназначен для формирования импульсных сигналов значительного уровня мощности (два канала, каждый с импульсной выходной мощностью не менее 1 Вт). При этом необходимо обеспечить подавление уровня сигнала выключенного канала относительно включенного на величину не менее 40 дБм при времени переключения каналов на уровне единиц наносекунд.

Конструктивно передающий СВЧ модуль состоит из:

- задающего генератора на транзисторе с миниатюрным диэлектрическим резонатором, построенного по схеме с последовательной обратной связью.

- делитель мощности разработанного на основе кольцевого делителя, расположенного на поликоровой плате.

- выключателей выходной мощности, основанных на р-и-п диодах 2A557A-3. Для обеспечения требуемого подавления мощности используются 4 последовательно расположенных диода и 2 параллельных, соединенных с землей. Для увеличения развязки и повышения быстродействия переключения выключателей используются драйверы, обеспечивающие напряжения управления +5В или -5В при подаче на них логических сигналов управления. Измерения показали, что примененная схема позволяет получить подавление уровня мощности выключенного канала на 45 дБм относительно включенного при времени переключения не более 40 нс, что показано на рисунке 2.

- усилительные каскады производства АО «НПП «Исток» им. Шокина», выполненные по гибридно-интегральной технологии.

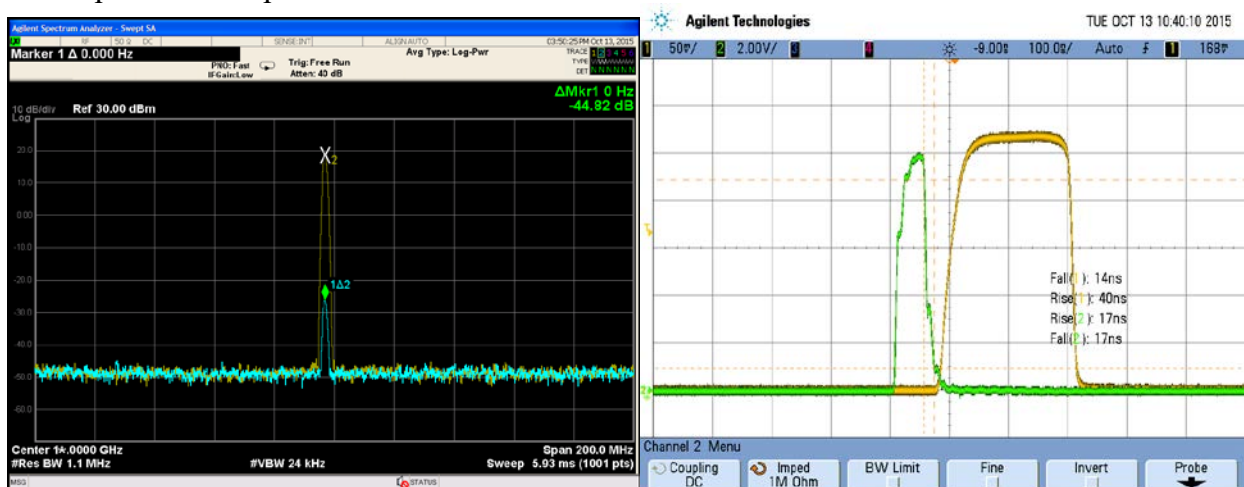


Рис. 2. Уровень подавления мощности и время переключения каналов, измеренные на выходе передающего модуля СВЧ.

Конструкция и электрические параметры приемного модуля

Приемный СВЧ модуль имеет четыре попарно функционирующих СВЧ входа и содержит:

- защитные устройства
- быстродействующие переключатели на р-і-п диодах
- усилительный тракт с малошумящими усилителями
- СВЧ смесители
- дискретные аттенюаторы 0-40 дБ с шагом 10 дБ
- полосно-пропускающий фильтр

Исходя из пороговой чувствительности приемного модуля при отношении сигнал/шум не менее 6 дБ коэффициент шума приемного модуля не должен превышать 21 дБ. С учетом потерь в фильтре не более 2 дБ, в ограничителе не более 1,5 дБ, переключателе не более 3 дБ а также шумами усилителя не более 10 дБ и усилением 20 дБ шумы модуля не превышают 17 дБ. Коэффициент передачи модуля не менее 24 дБ.

Ограничитель СВЧ мощности выполнен в виде платы на металлическом позолоченном основании размерами $12 \times 6,2 \times 0,5 \text{ мм}^3$, и обеспечивает выходную мощность не более 1,1 Вт при потерях на проход не более 1,5 дБ

Переключатель выполнен на р-і-п диодах 2A553A-3. В каждом плече переключателя используется по 3 последовательных диода. Так как для усилителей, на которые нагружен переключатель, требуются согласованная нагрузка во всех режимах работы, в переключателе используются выходы с согласованной нагрузкой, подсоединяемой в момент выключения данного выхода. Для этого на выходах переключателя стоят сопротивления 50 Ом, закороченные по СВЧ на землю с помощью шлейфов и обеспечивающие включение согласованной в выключенных плечах переключателя. Данные выключатели обеспечивают прямые потери не более 3 дБ и перепад между прямыми и обратными потерями не менее 35 дБ.

Аттенюаторы выполнены на переключаемых отрезках линий с включением в одно из плеч П-образного аттенюатора. Данная конструкция обеспечивает наилучшую повторяемость параметров от одного образца к другому и несколько большие потери из-за использования 4 диодов на аттенюатор. Две ступени аттенюатора расположены на одной поликоровой плате размером $15,0 \times 16,0 \times 0,5 \text{ мм}^3$. Прямые потери платы не превышают 2 дБ. Аттенюатор обеспечивает затухание в полосе частот 10 ± 1 дБ, 20 ± 2 дБ и 30 ± 3 дБ.

К переключаемым аттенюаторам также предъявляются требования по длительности фронта и спада импульса. Для обеспечения необходимого времени переключения применяются управляющие драйверы, аналогичные примененным в передающем модуле, что позволило добиться фронтов импульса не более 15 нс (рис. 3).

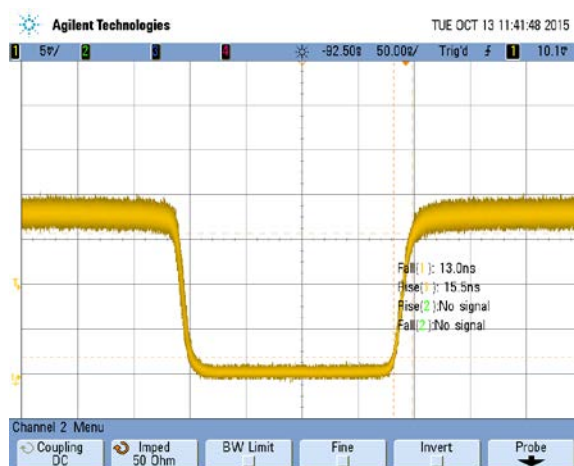


Рис. 3. Осциллограмма формы импульса переключаемого аттенюатора.

Входные фильтры приемного модуля СВЧ рассчитаны с полосой пропускания шире диапазона входных частот модуля, с целью уменьшения их размеров. Для дальнейшего сужения полосы применяются фильтры ПЧ, показанные на рисунке 4. Данный фильтр, по сравнению с входным обладает более узкой полосой пропускания, что позволяет добиться требуемой рабочей полосы частот. Фильтр имеет прямые потери не более 1,5 дБ при неравномерности 0,5 дБ.

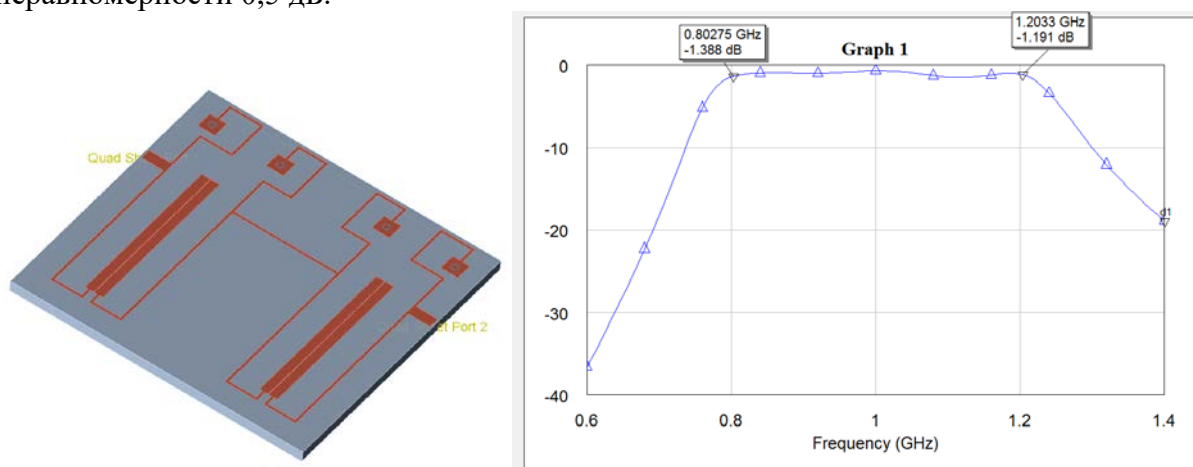


Рис. 4. Внешний вид и АЧХ полосно-пропускающего фильтра ПЧ

Заключение

Создан приемопередающий СВЧ модуль с импульсной выходной мощностью по двум каналам более 1 Вт.

Разработанный двухканальный передающий и четырехканальный приемный СВЧ модули с импульсной выходной и входной мощностью по своим эксплуатационным характеристикам и конструктивному решению находится на уровне зарубежных аналогов, прямые отечественные твердотельные аналоги с необходимой выходной мощностью, малыми габаритами и в заданном диапазоне частот не известны.

Разработанный приемный блок по предъявляемым к нему требованиям превосходит все известные отечественные разработки и находится на уровне зарубежных аналогов или превосходит их. Дополнительное увеличение чувствительности модуля может осуществляться только оптимизацией параметров отдельных узлов. Значительно увеличить чувствительность модуля не представляется возможным, т.к. полученная чувствительность находится на грани теоретически возможной.

Библиографический список

1. Мякинков В.Ю. Ряд перестраиваемых генераторов СВЧ с низким уровнем фазовых шумов / Мякинков В.Ю., Горюнов И.В., Мальцев В.А., Рудый Ю.Б., Тыртышников А.В. // 14-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2004). – Том 1, Севастополь, Крым, Украина 13–17 сентября 2004 г. – С.102 –103.
2. Быкадоров А.А. Приемо-передающие модули СВЧ – диапазона // Радиотехника. – 2002. – №2. – С.82–85.
3. Анцев Г. В. Результаты разработки миниатюрных четырехканальных приемо-передающих СВЧ модулей / Анцев Г. В., Быкадоров А. А., Булатов А. А., Тупиков В. А. Шор Е. Д., Французов А. Д., Чижов А. И. // 18-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2008). – Том 1, Севастополь, Крым, Украина 8–12 сентября 2008 г. – С.51 – 52.
4. Крутов А.В. Монолитная интегральная схема защитного устройства 3-х сантиметрового диапазона / Крутов А.В., Ребров А.С. // 15-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2005). – Том 1, Севастополь, Крым, Украина 10–14 сентября 2005 г. – С. 218–220.
5. Мякинков В. Ю. Приемопередающий модуль доплеровского измерителя скорости, угла сноса и высоты современных самолетов / Мякинков В. Ю. Губарев В. Ф., Рудый Ю. Б., Ковтунов Д. А., Калинин А. С., Футьянов С. И., Рабодзей А. Н., Шипило Е. М. // Электронная Техника. Сер.1. СВЧ-Техника. – 2013. – Вып. 3(518). – С. 202–207.