

УДК 621.382.029.6

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 3-8 ГГц К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВХОДНОЙ СВЧ МОЩНОСТИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

А.М.Осипов, С.В.Платонов

Институт электронных и информационных систем НовГУ, т. 8-911-60-20

Описана разработка малошумящего усилителя с защитой входных каскадов от воздействия входной СВЧ мощности до 2 Вт, работающего в диапазоне частот 3÷8 ГГц. Усилитель изготовлен в виде квазимонолитной схемы. Описана конструкция и основные этапы разработки усилителя. Приведены результаты исследования воздействия импульсных напряжений на входе и входной СВЧ мощности на усилители с интегрированной защитой и без.

Ключевые слова: *усилитель, защитное устройство, входной каскад, воздействие СВЧ мощности, импульсы напряжений*

The article describes the designing of a low-noise amplifier with protection of input cascades against influence of input microwave power frequency to 2 W, working in a range of frequencies 3÷8 GHz. The amplifier is made as the quasimonolithic scheme. The design and the basic development stage are described. Results of research of pulse electrical pressure influence on an input terminal and of entrance microwave power frequency on amplifiers with and without the integrated protection are presented.

Keywords: *amplifier, protection device, input cascade, influence of microwave power frequency, voltage pulse*

Введение

Современное состояние электроники ставит перед разработчиком ряд требований, связанных не только с улучшением параметров изготавливаемых устройств, но и со снижением массогабаритных показателей и повышением надежности схем. Этим требованиям отвечает использование в разработках законченных функциональных блоков и модулей, а не дискретных приборов, позволяя вместе с тем значительно упростить разработку сложных систем.

Разработчики современных систем радиолокации в качестве основного элемента приемных модулей радиопередающей аппаратуры используют малошумящие усилители, которые подвержены воздействиям электромагнитных импульсов передающих узлов радиолокационных станций и средств радиоэлектронной борьбы. Поэтому разработка и производство

малошумящих усилителей, стойких к воздействию высоких уровней входной мощности является актуальной задачей.

Материалы, методы и основные результаты исследования

Предприятием «Планета-Аргалл» разработан модуль малошумящего усилителя М52301В, работающий в диапазоне частот 3÷8 ГГц. Усилитель реализован по квазимонолитной технологии изготовления, при которой пассивная часть схемы реализуется на отдельной плате, а в качестве активных элементов выступают чипы транзисторов, получаемые в отдельном технологическом процессе [1,2].

Малошумящий усилитель построен на основе двухкаскадной схемы с параллельным однополярным питанием. В качестве активных элементов использованы полевые транзисторы с барьером Шоттки с шириной

затвора 300 мкм на псевдоморфных гетероэпитаксиальных структурах с высокой подвижностью электронов (pHEMT).

В качестве пассивных компонентов схемы использованы тонкопленочные резисторы, конденсаторы и индуктивности, которые изготавливаются в едином технологическом цикле на полудиолирующей подложке GaAs.

Модуль маломощного усилителя M52301, изготовленный по описанной квазимонолитной технологии, имеет следующие параметры [3]:

- типовое значение коэффициента усиления — $21 \div 24$ дБ;
- типовой коэффициент шума — $1,6 \div 1,8$ дБ;
- напряжение питания — 6 В;
- ток потребления — менее 60 мА.

В ходе работы проведены испытания модулей M52301 на стойкость к воздействию импульсных напряжений на входе и входной СВЧ мощности. Для этого использовался имитатор статического электричества М 2.711.000. Исследования проводились при ступенчатом увеличении напряжения воздействующих импульсов со 100 до 1000 В с шагом 50 В. На каждой из ступеней импульс напряжения (рис.1) подавался в прямой и обратной полярностях не менее 10 раз.

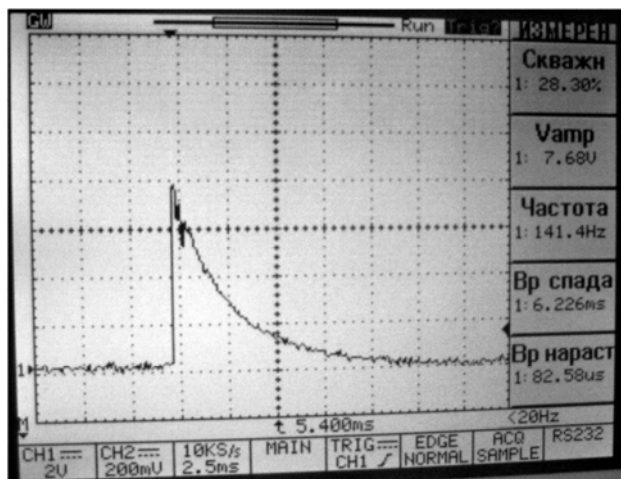


Рис.1. Импульс воздействующего напряжения

При испытаниях на стойкость к воздействию входной непрерывной СВЧ мощности на вход испытуемого модуля подавалась непрерывная СВЧ мощность ($f_0 = 6$ ГГц) заданного уровня в течение 1 мин.

При испытаниях на стойкость к воздействию входной импульсной СВЧ мощности на вход испытуемого модуля подавались импульсы СВЧ мощности ($f_0 = 6$ ГГц) заданного уровня длительностью 0,5 мкс с частотой следования 200 Гц.

После каждой ступени воздействия модули исследовались на предмет изменения их СВЧ характеристик — коэффициента усиления K_u и коэффициента шума $K_{ш}$. Отказом считалось их изменение на 10 и более процентов. Отказы модулей M52301 были зафиксированы при следующих уровнях воздействующих факторов:

- импульсное напряжение — $250 \div 300$ В;
- входная непрерывная СВЧ мощность — 0,12 Вт;
- входная импульсная СВЧ мощность — 0,30 Вт.

Для обеспечения стойкости к воздействию импульсных напряжений на входе и входной СВЧ мощности на основе описанного модуля M52301 изготовлены образцы усилителя с интегрированной защитой по входу — модуля M52102. В качестве элемента защиты модуля от внешних воздействий по входу использовано полупроводниковое защитное устройство, которое представляет собой автономный ограничитель на основе встречно-параллельных каскадов диодов Шоттки.

Принцип действия защитного устройства следующий. При низком уровне входной СВЧ мощности, когда амплитуда сигнала меньше высоты барьера Шоттки, диодные матрицы практически не влияют на прохождение СВЧ сигнала. Вносимые потери ограничителя мощности в режиме низкого уровня мощности малы. При высоком уровне мощности, когда амплитуда сигнала превышает уровень барьера Шоттки, происходит шунтирование части сигнала, превышающей уровень барьера, и, соответственно, ограничение проходящей мощности.

Защитное устройство реализовано в виде монолитной интегральной схемы и не требует дополнительных настроек, согласования и питания. Прямые потери в режиме малого сигнала в рабочем диапазоне частот не превышают 0,5 дБ. Максимально допустимая входная непрерывная СВЧ мощность составляет не менее 2 Вт. Уровень просачивающейся мощности, не превышающий 20 мВт, безопасен для транзисторов, используемых на входе маломощного усилителя.

Модуль состоит из защитного устройства и маломощного усилителя (рис.2). Его образцы были изготовлены в металлокерамических корпусах с 50-Омными микрополосковыми выводами. Габаритные размеры модуля составляют $13,5 \times 7,5 \times 1,9$ мм [4].

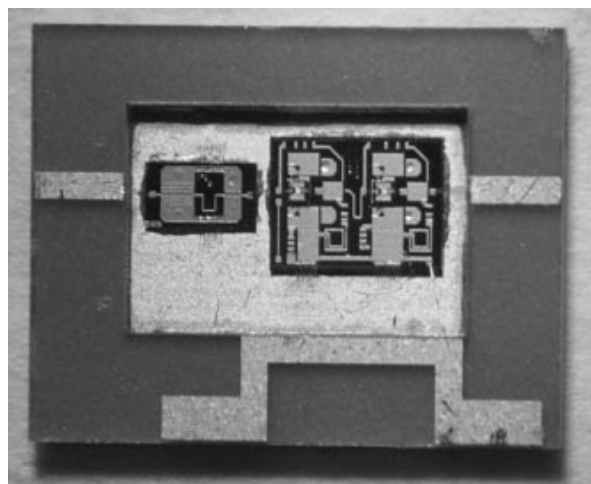


Рис.2. Фотография маломощного усилителя с интегрированной защитой по входу M52102

Модуль маломощного усилителя M52102 с интегрированной защитой по входу имеет следующие параметры:

- рабочий диапазон частот — $3 \div 8$ ГГц;
- напряжение питания — 6 В;
- ток потребления — $45 \div 55$ мА;
- коэффициент усиления по мощности — $18 \div 22$ дБ;
- коэффициент шума — $1,9 \div 2,4$ дБ;
- входная мощность — не более 2 Вт.

На рис.3 приведены частотные зависимости СВЧ характеристик модулей M52301 и M52102.

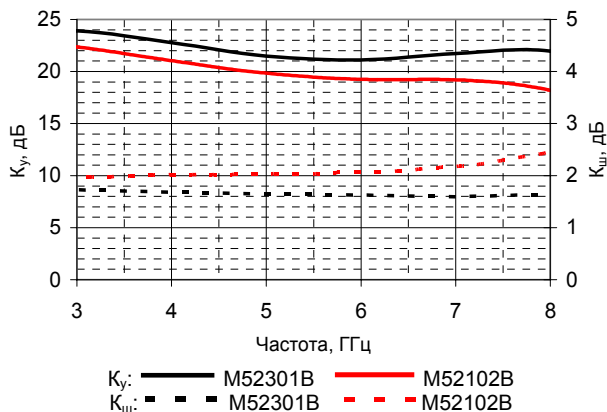


Рис.3. Частотные зависимости коэффициента усиления и коэффициента шума модулей M52301 и M52102

Были проведены испытания модулей на воздействие входной непрерывной СВЧ мощности 2 Вт. Результаты испытаний положительные — все модули выдержали данный уровень мощности без изменения своих характеристик.

напряжениям вплоть до значений в 1 кВ отказов не наблюдалось.

В табл.1 представлены сравнительные значения уровней воздействующих факторов для модулей M52301 и M52102.

Таблица 1

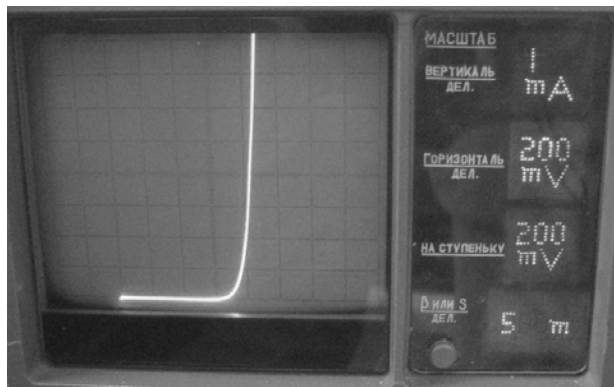
Уровни воздействующих факторов, при которых происходит отказ

Модуль	M52301	M52102
Уровень импульсного напряжения, В	250 ÷ 300	—*
Входная непрерывная СВЧ мощность, Вт	0,12	7
Входная импульсная СВЧ мощность, Вт	0,30	15

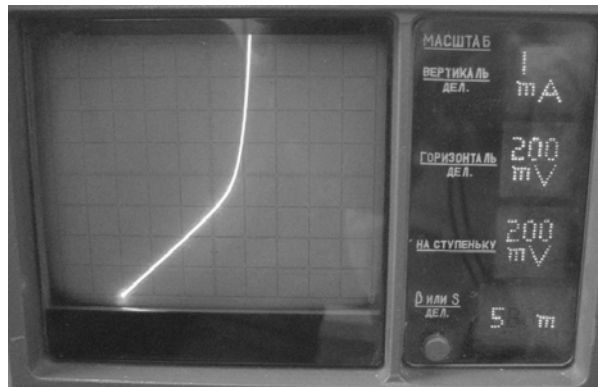
Примечание: * — при повышении напряжения до 1 кВ вызвать отказ не удалось.

Проведен анализ отказавших приборов.

В модулях малошумящих усилителей без защиты входных каскадов при превышении критических уровней поражения импульсами воздействующих напряжений происходит рост шумов исследуемых образцов с одновременным ухудшением усилительных свойств, вызванный разрушением барьеров Шоттки затвор-исток входных транзисторов. На рис.4 представлена ВАХ барьера Шоттки затвор-исток входного транзистора до и после импульса воздействующего напряжения.



а)



б)

Рис.4. Изменение ВАХ перехода затвор-исток входного транзистора модуля без защиты входных каскадов: а) до импульсного воздействия; б) после импульсного воздействия напряжением 250 В

При дальнейшем повышении уровня воздействующей непрерывной входной СВЧ мощности вплоть до уровня 6 Вт изменений в параметрах модуля с интегрированной защитой не зафиксировано. При воздействии входной мощности 7 Вт произошло уменьшение коэффициента передачи модуля, вызванное отказом защитного устройства. Усилитель при этом не пострадал.

Аналогичная картина наблюдалась при воздействии импульсной СВЧ мощности с уровнем 15 Вт.

При испытаниях малошумящего усилителя M52102 на определение стойкости к импульсным

При воздействии входной непрерывной СВЧ мощности на вход модуля M52301 отказ происходит при 120 мВт. Отказ связан с выгоранием (расплавлением металлизации) затвора входного транзистора усилителя, что наглядно подтверждается фотографиями мест отказов, полученными растровым электронным микроскопом (рис.5). Аналогичная картина наблюдается и при воздействии импульсной мощности 300 мВт.

В случае воздействия импульсной мощности на вход СВЧ усилителя отказ наступает не в момент подачи воздействующей мощности, как это было установле-

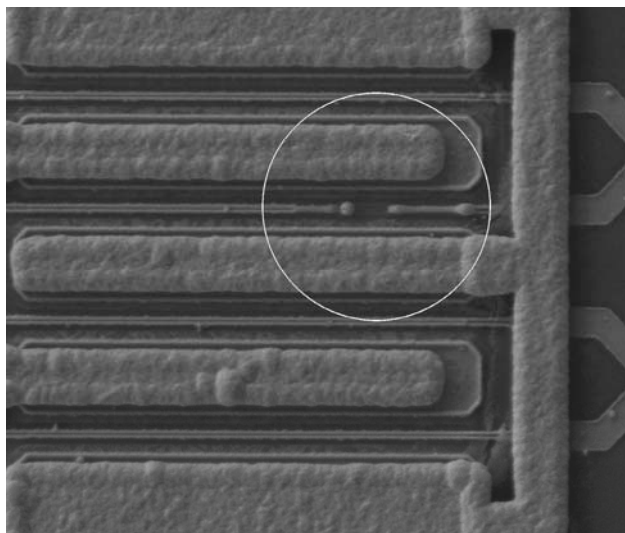


Рис.5. Внешний вид отказавшего входного транзистора модуля M52301B

но при воздействии непрерывного мощного сигнала, а через 5-10 с, о чем свидетельствует скачкообразное изменение потребляемого тока, т. е. имеет место эффект накопления [5]. В нашем примере через 6 с после подачи входной импульсной мощности произошло скачкообразное изменение потребляемого тока с 50 мА до 61 мА. Такой вид отказа связан с ухудшением характеристик СВЧ усилителя, происходящим с каждым новым импульсом, поступающим на вход усилителя, что приводит к необратимому отказу схемы.

Отказ защитного устройства при прохождении высокого уровня мощности связан с локальным нагревом входных каскадов устройства, приводящий к разрушению барьера Шоттки и появлению омического контакта. Продолжающийся рост воздействующей мощности приводит к возникновению теплового пробоя структуры, сопровождающийся выгоранием анода диода Шоттки (рис.6). При этом большая часть мощности, подводимая на вход защитного устройства, шунтируется на землю через сопротивление образовавшегося омического контакта. Оставшаяся просачивающаяся мощность слишком мала, чтобы привести к отказу входных каскадов малошумящего усилителя.

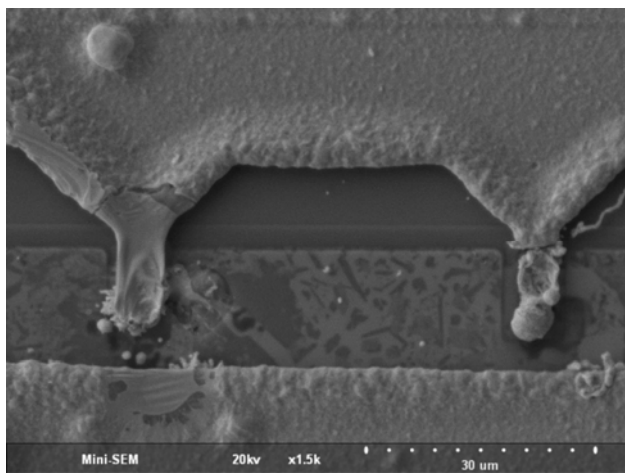


Рис.6. Место отказа защитного устройства

При исследовании воздействия импульсной входной СВЧ мощности на усилители с интегрированной защитой M52102 подавались импульсы с разной длительности, равной 5, 50 и 500 мкс. Частота повторений импульсов была постоянной — 200 Гц. Время воздействия мощности на образцы усилителей было выбрано равным 10 с. Результаты представлены в табл.2.

Таблица 2
Воздействие импульсной входной СВЧ мощности на модуль M52102 при частоте повторения импульсов 200 Гц

Длительность импульсов, мкс	Мощность поражения, Вт
5	15,0
50	7,4
500	5,8

Из полученных данных видно, что чем больше мощность СВЧ излучения, поступающая на вход малошумящего усилителя, тем более короткий импульс требуется для поражения полупроводниковых структур. При воздействии импульсной СВЧ мощности имеется эффект накопления повреждений элементов усилителя, заключающийся в запаздывании времени отказа от времени подачи воздействующей мощности. Поэтому можно сделать вывод, что стойкость модулей к воздействию одиночных импульсов на порядок выше, чем стойкость к воздействию пачек импульсов.

Выводы

Обобщая полученные данные, можно сделать следующие выводы.

1. Использование автономного ограничителя на основе диодов Шоттки на входе модуля позволяет существенно повысить стойкость модуля к воздействию импульсных напряжений и входной СВЧ мощности высокого уровня.

2. Необратимый отказ усилителей связан с выгоранием (расплавлением металлизации) затвора входного транзистора усилителя.

3. Среднее значение выходной непрерывной СВЧ мощности, при которой наблюдается необратимый отказ схемы усилителя, соответствует 0,12 Вт. При воздействии импульсной мощности с длительностью импульсов 5 мкс и частотой следования импульсов 200 Гц необратимый отказ схемы возникает при 0,3 Вт. Отказ усилителей при воздействии импульсных напряжений происходит при 250÷300 В.

4. В случае использования защитных устройств на входе усилителя удастся увеличить стойкость к воздействию высоких уровней непрерывной СВЧ мощности до 7 Вт (15 Вт в случае непрерывной мощности с длительностью импульсов 5 мкс и частотой повторения 200 Гц). При этом даже в случае отказа защитного устройства на входной каскад усилителя проходит малая часть просачивающейся мощности сигнала, порядка 20-30 мВт, не приводящая к отказу транзисторных каскадов усилителя.

5. Отказ образцов усилителей с защитой по входу происходит в защитном устройстве в результате теплового пробоя входных каскадов диодов Шоттки, использующихся для шунтирования высокой мощности на землю.

6. Мощность поражения импульсной СВЧ мощностью зависит от длительности импульса, и чем она больше, тем меньшая мощность требуется для критического поражения СВЧ усилителя.

Показано, таким образом, что использование автономного ограничителя на основе диодов Шоттки на входе модуля позволяет существенно повысить стойкость модуля к воздействию импульсных напряжений и входной СВЧ мощности высокого уровня.

-
1. Platonov Sergey V., Osipov Andrey M., Kozlovsky Eduard Y. Power Limiter/Low-Noise Amplifier of C-band // Interna-

tional Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2010: Conference Proceedings, 2010. P.193-196.

2. Осипов А.М., Козловский Э.Ю., Селезнев Б.И. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер.: Информатика, телекоммуникации, управление. 2008. №6. С.187-191.
3. Платонов С.В., Осипов А.М. Разработка малошумящих усилителей L-, S- и C-диапазонов // 18-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2008): Мат. конф. (Севастополь, 8-12 сентября 2008 г.). Севастополь: Вебер, 2008. С.85-86.
4. Платонов С.В., Осипов А.М. Разработка малошумящего усилителя L-, S- и C- диапазонов со встроенной защитой входных каскадов // 19-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2009): Мат. конф. (Севастополь, 14-18 сентября 2009 г.). Севастополь: Вебер, 2009. С.51-52.
5. Радиозлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В.Д.Добыкин, А.И.Куприянов, В.Г.Пономарев, Л.Н.Шустов; Под ред. А.И.Куприянова. М.: Вузовская книга, 2007. С.67.