



Universitatea Tehnică a Moldovei

**Dezvoltarea amplificatorului de intrare cu
zgomot redus pentru liniile de
comunicații satelitare**

**Student:
Zaitev Artiom
Conducător:
conf. univ., dr. Sorochin German**

Chișinău-2018

Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Electronică și Telecomunicații Programul de
masterat „Sisteme și comunicații electronice”

Admis la susținere Șef
de departament: conf. univ., dr. Șestacov Tatiana

„_____” _____ **2018**

Dezvoltarea amplificatorului de intrare cu
zgomot redus pentru liniile de
comunicații satelitare

Teză de master

Masterand: _____ Zaitsev A.

Conducător: _____ conf. univ., dr. Sorochin German.

Chișinău-2018

АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена разработке малошумящего входного усилителя S-диапазона (средняя частота $f_{пр} = 3$ ГГц), обладающего низким коэффициентом шума ($Kш \leq 3$ дБ).

Произведен анализ существующих аналогов и прототипов МШУ S-диапазона. В работе выполнен энергетический расчет спутниковой радиолинии, который определяет требуемую чувствительность и коэффициент усиления МШУ. Разработана структурная схема устройства и определены требования к блоку МШУ.

Осуществлен выбор необходимой элементной базы МШУ и выполнены схемотехнические расчеты усилителя. С помощью программы Microwave Office выполнены топологические расчеты МШУ и оптимизация его параметров. Определена надежность спроектированного изделия.

ANNOTATIN

In this projekt, we consider the main steps for developing a low-noise input amplifier of the S- band (average frequency fpr = 3 GHz), which has a low noise factor ($K_{sh} \leq 3\text{dB}$).

The analysis of existing analogues and prototypes of the LNA L-band is made. In the work, an energy calculation of the satellite radio link is performed, which determines the required sensitivity and the gain of the LNA. The structural scheme of the device is developed and the requirements to the LNA block are defined.

The choice of the necessary element base of the LNA was made and the circuitry calculations of the amplifier were performed. With the help of the Micro wave Office, topological calculations of the LNA and optimization of its parameters are performed. Certain reliability of the designed product.

REZUMAT

În această lucrare am efectuat principalele etape ale dezvoltării unui amplificator de intrare S-banda de zgomot redus (medie frecvență $F_m = 3 \text{ GHz}$) având o nivel de zgomot redus ($K_s \leq 3\text{dB}$).

Se realizează analiza analogilor și prototipurilor existente ale S- benzii LNA. În cadrul lucrării, se efectuează un calcul energetic al legăturii radio prin satelit, ceea ce determină sensibilitatea necesară și câștigul LNA. Schema structurală a dispozitivului este dezvoltată și sunt definite cerințele pentru blocul LNA.

A fost făcută alegerea elementului de bază necesar al LNA și s-au efectuat calculele circuitului amplificatorului. Cu ajutorul MicrowaveOffice se efectuează calcule topologice ale LNA și optimizarea parametrilor săi. Calculat fiabilitateale produsului proiectat.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7 1.
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ И СУЩЕСТВУЮЩИХ МАЛОШУМЯЩИХ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ СВЧ ДИАПАЗОНА.....	11 1.1.
Выводы и задачи.....	16 2.
РАЗРАБОТКА МАЛОШУМЯЩЕГО ВХОДНОГО УСИЛИТЕЛЯ S- ДИАПАЗОНА.....	1
2.1. Энергетический расчет радиолинии	17
2.1.1. Общие положения.....	17
2.1.2. Энергетический расчет радиолинии спутник-Земля	17
2.1.3. Определение плотности потока мощности электромагнитных волн.....	18
2.1.4. Определение мощности радиосигнала на входе приемного тракта.....	21
2.1.5. Определение мощности шума на входе приемника и коэффициента шума приемника.....	22
2.1.6. Определение реальной и пороговой чувствительности приемника.....	27
2.2. Разработка структурной схемы приемного устройства S-диапазона.....	28

2.2.1. Общие положения.....	28
2.2.2. Сравнительный анализ структурных схем СВЧ трактов.....	29
2.2.3. Выбор структурной схемы СВЧ тракта приема.....	32
2.2.4. Выбор количества преобразований частоты.....	35
2.2.5. Малошумящий усилитель.....	36
2.3. Разработка функциональной схемы приема-передающего СВЧ тракта.....	41
2.3.1. Характеристика элементов СВЧ тракта.....	41
2.3.2. Определение номиналов промежуточных частот и частот гетеродина....	42
2.3.3. Выбор системы АРУ.....	43
2.3.4. Распределение усиления по трактам приемника.....	45
2.4. Расчет высокочувствительного малошумящего входного усилителя диапазона.....	47
2.4.1. Модели транзисторов СВЧ.....	47
2.4.2. Системы S- и S'- параметров транзистора.....	49
2.4.3. Расчет маломощных усилителей на транзисторах.....	52
2.4.4. Расчет транзисторного МШУ.....	60
2.4.5. Составление топологической схемы усилителя.....	72
2.4.6. Расчет надежности малошумящего усилителя S-диапазона.....	78
2.5. Охрана жизнедеятельности при работе с СВЧ устройствами.....	82
2.5.1. Защита от электромагнитных излучений.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	89
БИБЛИОГРАФИЯ.....	90

ВВЕДЕНИЕ

В диапазон СВЧ микроэлектроника начала внедряться в последнюю очередь, примерно в середине 60-х годов. В первую очередь это связано с трудностью создания твердотельных СВЧ активных приборов. Кроме того, при проектировании и разработке СВЧ микроэлектронных устройств необходимо учитывать очень многие факторы, обусловленные малыми размерами узлов, концентрацией сильных полей в малых объемах, наличием цепей паразитной связи, взаимодействием близко расположенных элементов, трудностью отвода тепла, требованиями к точности изготовления и однородности материалов. При проектировании микроэлектронной аппаратуры СВЧ диапазона редко удается разделить электрический расчет схемы,

разработку конструкции и даже технологию изготовления. Как правило, это единый процесс. Для определения параметров микроэлектронного узла СВЧ, строго говоря, необходимо решать граничную задачу электродинамики. Однако даже для регулярных микрополосковых линий, не говоря уже о сложных СВЧ узлах, граничные поверхности имеют сложную форму и волновые уравнения разрешить не удается. Отсюда вытекают требования создания приближенных теорий, различных степеней приближения. Кстати, к настоящему времени строгой теории ни одного микрополоскового устройства нет. Приближенные теории всегда нуждаются в экспериментальной проверке. Поэтому микроэлектронные СВЧ устройства приходится испытывать и настраивать экспериментально. Несмотря на все эти трудности в развитии микроэлектроники СВЧ диапазона на сегодня имеются заметные успехи. Уже применяются различные твердотельные генераторы и приемники СВЧ. Широкое развитие получили различные микрополосковые устройства: сложные тракты питания, делители мощности, направленные ответвители и мостовые схемы, частотно-избирательные и невзаимные устройства, фазовращатели, многоканальные коммутаторы и другие узлы радиоаппаратуры СВЧ диапазона. Широко ведутся работы по созданию полностью микроэлектронных РЛС, аппаратуры радиопротиводействия, связных систем и т. д. Развитию интегральной техники СВЧ диапазона предшествовало освоение полосковых линий передачи, появление тонкопленочной гибридной технологии и разработка твердотельных активных СВЧ приборов, особенно бескорпусных.

Стремление к снижению массы и габаритов аппаратуры привело к развитию техники печатного монтажа. В диапазоне СВЧ появились симметричная и несимметричная полосковые линии с воздушным и диэлектрическим заполнением. Они хорошо переносят ударные нагрузки и вибрацию, просты в изготовлении, их производство можно автоматизировать. Конструкция этих линий позволила применить фотогравирование при изготовлении сложных СВЧ узлов. На первых этапах развития техники полосковых линий устройства выполнялись на пластинах из фольгированного диэлектрика. Роль механических элементов выполняли сами пластины. В последующие годы начали широко применять в качестве подложек керамические материалы с высокой диэлектрической проницаемостью. Это привело к значительному уменьшению размеров СВЧ узлов. Одновременно развивалась полупроводниковая электроника СВЧ. Появились новые активные приборы,

работающие в СВЧ диапазоне: диоды Ганна, лавинно-пролетные диоды, СВЧ транзисторы, варакторы, туннельные и переключающие диоды и т. д. Эти приборы позволили решить проблему микроминиатюризации СВЧ аппаратуры на основе техники интегральных схем, улучшить характеристики радиотехнических устройств, повысить их экономичность и надежность. Использование бескорпусных или малокорпусных активных элементов, встраиваемых непосредственно в пассивную часть схемы, позволило уменьшить паразитные реактивности вводов, улучшить условия согласования активной и пассивной частей схемы. При достаточно большой функциональной насыщенности каждой схемы существенно сокращается число межсхемных соединений. Отпадает необходимость в большом числе разъемов, что существенно увеличивает надежность устройства. Так, по оценке имеет расчетный срок службы 100 лет. Как показали испытания, при общей наработке в 1 млн. ч в схемах транзисторных усилителей мощности и схемах управления фазой было лишь 3 отказа. Надежность приемопередающего модуля проекта RASSR, представляющего сложное функциональное устройство, характеризуется величиной среднего времени между отказами 30 000 ч. Важнейшей характеристикой любой аппаратуры является ее стоимость. Анализ методов проектирования, изготовления и испытания радиоэлектронной аппаратуры на СВЧ ГИС показывает большие потенциальные возможности снижения ее стоимости при серийном изготовлении.

В стоимость СВЧ аппаратуры входит стоимость активных элементов, интегральных схем, сборки и, если необходимо, корпусирования и испытаний. Стоимость активных приборов СВЧ непрерывно уменьшается по мере улучшения технологии их производства и объема выпуска. Стоимость пассивной микросхемы слабо зависит от ее сложности и приблизительно пропорциональна площади занимаемой подложки. Чтобы уменьшить стоимость микросхемы, необходимо ее упрощать и, как следствие, уменьшать число этапов обработки и циклов откатки; уменьшать размеры схемы, используя подложки с большой диэлектрической проницаемостью и улучшая ее топологию; использовать, где это возможно, безвакуумную технологию толстых пленок; применять технологические процессы, для которых существует оборудование массового производства. Стоимость сборки микросхемы существенно зависит от степени ее автоматизации. Возможности автоматизации, в свою очередь, зависят от конструкции навесных элементов. В стоимость корпусирования входит стоимость корпуса, герметичных разъемов и процесса герметизации. На стоимость

корпусирования существенно влияет функциональная насыщенность устройства, заключенного в корпус. Относительно большой вклад в стоимость микроэлектронного СВЧ устройства вносят операции его проверки. Отсюда вытекает важность создания высокопроизводительной автоматизированной измерительной аппаратуры. Как известно, главным методом снижения стоимости аппаратуры является максимальная автоматизация всех технологических процессов изготовления и проверки. Это возможно только при большой программе выпуска. Из опыта известно, что в микроэлектронной технике увеличение выпуска на 3 порядка снижает стоимость одного изделия на порядок. На существующем этапе развития микроэлектронной техники СВЧ аппаратуре на интегральных схемах присущи и свои недостатки. Первый из них заключается в энергетических ограничениях. Твердотельные генераторы и усилители СВЧ пока еще имеют относительно невысокий к. п. д., что приводит к выделению значительной мощности внутри твердого тела и, следовательно, к его перегреву. Как известно, даже для кремниевых приборов температура не должна превышать 150 ... 170°C, в то время как у электродов вакуумных приборов она может достигать нескольких сотен градусов. Потери в микрополосковой линии существенно больше, чем у других типов линий. На них трудно осуществлять высокочастотные системы. Однако эти недостатки не являются принципиальными. По мере разработки новых активных элементов, повышения к. п. д. генераторов и усилителей, развития техники охлаждающих устройств, улучшения характеристик материалов, применяемых в микроэлектронике, она все больше будет продвигаться в области более высоких частот и больших мощностей.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Спутниковая связь и вещание: Справочник. – 3-е изд./Под. ред. Л. Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1997.-528 с.
2. Справочник по учебному проектированию приёмно-усилительных устройств.- К.: Вища школа, 1972.
3. Радиоприёмные устройства. Проектирование на ИМС. – М.: Радио и связь, 1989.
4. Системы спутниковой связи / А. М. Бонч-Бруевич, В.Л. Быков, Л. Я. Кантор и др; Под ред. Л. Я. Кантора: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992. – 224 с.: ил.

5. Мордухович Л. Г., Степанов А. П. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1987. – 192 с.: ил.
6. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / Л. Г. Гассанов, А. А. Липатов, В. В. Марков, Н. А. Могильченко. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.: ил.
7. Проектирование интегральных устройств СВЧ: Справочник / Ю. Г. Ефремов, В. В. Конин, Б. Д. Солганик и др. – К.: Техника, 1990. – 159 с.
8. Микроэлектронные устройства СВЧ: Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов/ Г. И. Веселов, Е. Н. Егоров, Ю. Н. Алёхин и др.; Под ред. Г. И. Веселова. – М.: Высш. шк., 1988. – 280 с.: ил.
9. Интегральные устройства СВЧ телекоммуникационных систем / М. Е. Ильченко, А. А. Липатов, Н. А. Могильченко, Т. Н. Нарытник, А. В. Савельев, Ю. И. Якименко. – К.: Техника, 1998. – 110 с.
10. Осипов А.М.,Семенова Л.М. СВЧ-модули малошумящих усилителей. Материалы 19-й Международной Крымской конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии» 2009 г.
11. MicroWave Office 4.02 12. www.national semiconductor.com. Технические характеристики транзисторов