

Усилители с распределенным усилением

Н.И. Гоголев, А. Салих, Д.С. Брагин, В.Д. Дмитриев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, 634045 г. Томск, ул. Ленина, 40, sak@csp.tusur.ru

Аннотация — Увеличение быстродействия разрабатываемых устройств – одна из ключевых тенденций развития современной радиотехники. Это ведет к повышению требований и к другим техническим параметрам: помехозащищенности, стабильности, надежности и т.д. Широкополосные усилители являются одним из видов быстродействующих устройств. В свою очередь, к перспективным устройствам широкополосного усиления относят усилитель с распределенным усилением (УРУ), относящийся к классу устройств, работающих по принципу направленного сложения высокочастотных сигналов. В данной статье приведен обзор существующих структур интегральных УРУ, особенность их работы, преимущества и недостатки в сравнении с другими видами широкополосных усилителей. Из-за разнообразия архитектур УРУ требования к технологическому процессу варьируются. Материалы, на базе которых и проектируются усилители, имеют свои плюсы и минусы. В связи с этим, особое внимание было обращено на два популярных технологических процесса используемых в УРУ, а именно GaN и GaAs. Помимо этого, в работе представлена сводная таблица по имеющимся на рынке микросхемам.

Ключевые слова — арсенид галлия (GaAs), нитрид галлия (GaN), НЕМТ, каскод, УРУ, широкая полоса частот.

I. ВВЕДЕНИЕ

Построение широкополосных усилителей является актуальной задачей. Согласно теореме Шеннона – скорость передачи данных канала связи увеличивается за счет увеличения полосы пропускания радиоканала. В связи с этим предъявляются требования значительного усиления в широкой полосе частот. Широкополосный усилитель отвечающий этим требованиям - это распределенный усилитель.

В отличие от обычного каскадного или балансного усилителя, распределенный усилитель (или усилитель бегущей волны) использует несколько иной подход к широкополосному усилению, а именно параллельное расположение транзисторов. Входная и выходная емкости транзисторов, так называемые паразитные, входят в состав LC-фильтров нижних частот (см. рис. 1). Такая структура позволяет расширить полосу пропускания усилителя до частоты среза ФНЧ.

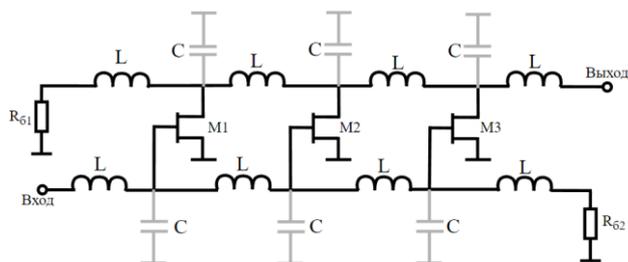


Рис. 1. Схема УРУ с общим истоком

В такой структуре полевые транзисторы с последовательными катушками индуктивности ведут себя, как эффективный фильтр нижних частот. При замыкании этих линий резистивными нагрузками отраженные сигналы поглощаются в балансной нагрузке, а полезные сигналы суммируются синфазно на выходе усилителя (рис. 1) [1].

Существуют различные методы реализации широкополосных усилителей, ниже приведены несколько из них:

Усилитель, состоящий из нескольких каскадно-соединенных подсхем, которые включают в себя активный элемент (в нашем случае полевой или биполярный транзистор) и подключенные к нему пассивные цепи коррекции амплитудно-частотной характеристики (далее АЧХ) и обратной связи (далее ОС) рис. 2.

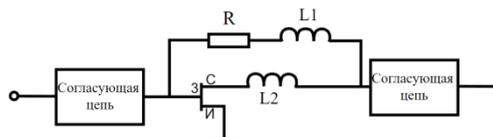


Рис. 2. Обобщенная структура транзисторного усилителя с обратной связью

В усилителях с ОС используется связь участка RL-цепи между стоком и затвором полевого транзистора. Эта структура улучшает согласование входа, согласование выхода и стабильность за счет снижения усиления на более низких частотах [1]-[2].

Балансный усилитель состоит из двух квадратурных мостов и двух одинаковых активных элементов. К одному из плеч подключены согласованные нагрузки. Если один каскад выходит из строя, общий коэффициент усиления падает примерно на 6 дБ, что может обеспечить полезную отказоустойчивость для некото-

рых случаев (рис. 3). Такая структура ограничена полосой пропускания квадратурного моста [1]-[2].

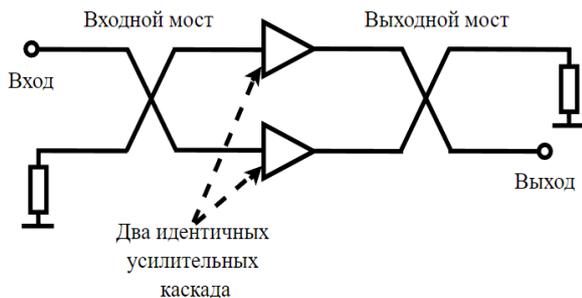


Рис. 3. Балансный усилитель

С реактивно-диссипативным согласованием. В этой структуре используются согласующие цепи высокого порядка, что приводит к более высоким требованиям технологического процесса (рис. 4).

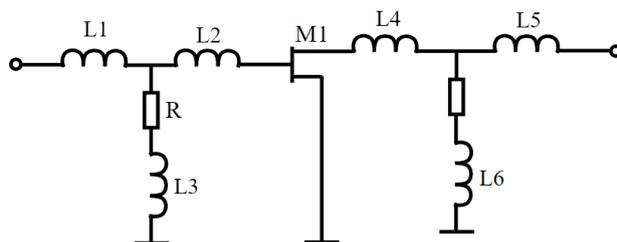


Рис. 4. Схема с реактивно-диссипативным согласованием

Используя реактивные согласующие цепи трудно получить низкий уровень отраженного от входа транзистора сигнала. Рассматриваемая структура на рис. 2 широко применяется в различных транзисторных усилителях для корректировки АЧХ. Однако такая структура уменьшает усиление каскада [2].

УРУ имеет широкий диапазон рабочих частот, равномерный коэффициент усиления во всей полосе пропускания и устойчивость характеристик к температурным изменениям, благодаря чему подобное схемотехническое решение используется в радарных, антенных, беспроводных, измерительных и других системах как военной, так и коммерческой сферах. Однако наряду с достоинствами, УРУ имеет и некоторые недостатки в сравнении с другими схемами реализации усилителей. Последовательные потери в линиях передачи, шунтирующие потери, связанные с транзисторами, ограничивающие количество ячеек усиления и максимально достижимый коэффициент усиления, высокое энергопотребление на постоянном токе, большой размер микросхемы и высокий уровень шума – все это отрицательно сказывается на работе УРУ.

Для получения высокой мощности часто применяют схему с общим истоком и неоднородной структурой УРУ (рис. 7) [7]. Недостатком такого вида схем является низкая развязка между входом и выходом, что приводит к режиму самовозбуждения особенно на высоких частотах.

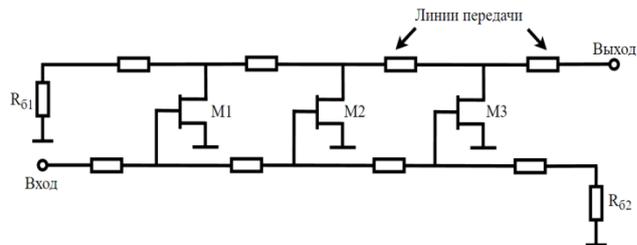


Рис. 5. Классическая схема УРУ с общим истоком

Несмотря на разнообразие схем УРУ самым распространенным видом распределенного усиления является каскодная схема (рис. 6). Применительно к УРУ наиболее широко используется схема каскода общий исток - общий затвор (ОИ - ОЗ). Такая структура характеризуется высоким максимально достижимым коэффициентом усиления, широкой полосой пропускания и улучшенной развязкой вход-выход.

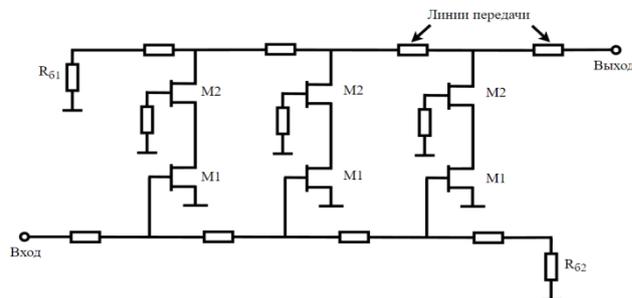


Рис. 6. Электрическая схема каскода

Однако потребляемая мощность каскодной схемы распределенного усилителя на постоянном токе выше. Стоит отметить, что реализация каскодной схемы усложняется, по сравнению с традиционными реализациями распределенных усилителей на основе классической схемы (рис. 5), в связи с чем необходимо оценивать некоторые дополнительные аспекты, такие как стабильность каскодной ячейки и увеличение напряжения на стоке, которое делится между общим затвором и общим истоком транзисторов. Тем не менее, учитывая вышеперечисленные факторы, каскодная схема может обеспечить максимально возможный коэффициент усиления в широкой полосе пропускания. Основными проблемами, возникающими при использовании каскодной структуры, являются нестабильность усилителя из-за индуктивных паразитных элементов, а также ухудшение линейности УРУ в целом.

II. УРУ НА ОСНОВЕ GAN И GAAS

При реализации УРУ большое внимание, помимо выбора актуального схемотехнического решения, уделяется выбору транзистора, на базе которого и будет разработана та или иная микросхема. Существует множество разновидностей используемых технологий производства транзисторов, таких как: транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT), псевдоморфный HEMT (pHEMT) и метаморфный HEMT (mHEMT). Основные отличия данных технологий друг

от друга заключаются в различных способах создания гетероперехода между материалами. Для создания гетероперехода в НЕМТ выбираются материалы с одинаковым параметром кристаллической решетки. Отличительными преимуществами НЕМТ являются низкое сопротивление и малая отключающая емкость, что приводит к меньшим потерям и хорошим характеристикам изоляции при работе на высокой частоте. Основными же недостатками НЕМТ являются инерционность затвора и подзатворный пробой. НЕМТ, в котором правило соответствия параметра кристаллической решетки слоев гетероперехода не соблюдается, называется псевдоморфным (рНЕМТ). Для этого слой одного из материалов делается очень тонким, причем настолько, что его кристаллическая решетка попросту растягивается до соответствия другому материалу. Такой способ позволяет изготавливать структуры с увеличенной разницей в ширине запрещенной зоны, что недостижимо другими путями [5]. Технология рНЕМТ обладает улучшенной производительностью и превосходными микроволновыми свойствами по сравнению с НЕМТ.

Основными материалами, используемыми в НЕМТ технологии, являются арсенид галлия (GaAs) и нитрид галлия (GaN). Арсенид галлия (GaAs) получил широкое признание в качестве предпочтительного полупроводникового материала для высокочастотных применений, в частности, в микроволновом и миллиметровом диапазонах волн. НЕМТ на базе нитрида галлия (GaN), в сравнении с GaAs НЕМТ является более новой и развивающейся технологией, в области применения которой проводятся множество исследований. Высокая электронная подвижность слоев GaN позволяет использовать GaN НЕМТ на частотах миллиметровых волн, помимо этого данная технология обладает высоким напряжением пробоя, что обеспечивает высокое выходное сопротивление и плотность мощности на входную емкость по сравнению с GaAs рНЕМТ. Транзисторы НЕМТ на основе GaN находят все большее применение в военных и коммерческих устройствах, таких как радары с фазированной антенной решеткой и спутниковая связь. Благодаря быстрому прогрессу за последние несколько лет GaN (НЕМТ) считается технологическим лидером следующего поколения для высокочастотных и мощных устройств [6].

Современное научное сообщество проводит исследования, в области распределенных усилителей опираясь на арсенид галлиевые (GaAs) и нитрид галлиевые (GaN) технологические процессы и, за редким исключением, рассматривают технологии фосфида индия (InP). В настоящей статье представлен обзор работ по двум основным технологическим процессам, которые используются при разработке распределенных усилителей.

В этом разделе рассматриваются существующие разработки интегральных СВЧ усилителей с распре-

деленным усилением на основе GaN НЕМТ и GaAs рНЕМТ технологических процессах.

Исследуя научные публикации по данной тематике, было выделено несколько работ, авторы которых использовали различные подходы к проектированию УРУ на основе существующих технологий и схемотехнических решений. В работе [7] представлена конструкция (рис. 7) неоднородного широкополосного УРУ мощности с общим истоком на основе технологии GaN НЕМТ.

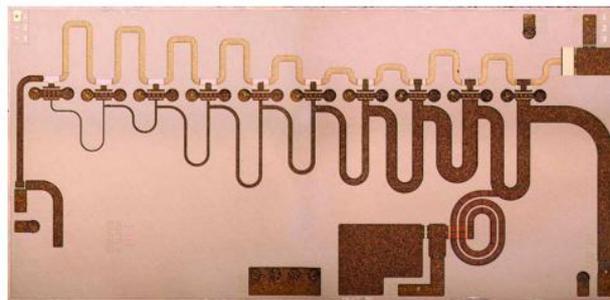


Рис. 7. Топология УРУ с общим истоком и неоднородной структурой

Сама микросхема выполнена с использованием неоднородных линий передачи необходимых для поддержания оптимальной нагрузки на активных элементах. Использование неоднородных линий предполагает, что преобразование импеданса нагрузки в более низкое значение позволяет увеличить общую периферию транзисторов и, соответственно, увеличить выходную мощность. В случае использования одинаковой общей периферии транзистора существует проблема создания первой транзисторной ячейки усиления, связанная с невозможностью реализации микрополосковой линии передачи с волновым сопротивлением превышающим 120 Ом. Особое внимание в работе было уделено разработке и электромагнитному моделированию спирального дросселя смещения. Для решения проблемы увеличения обратных потерь на выходе и спада усиления была выбрана закругленная конструкция дросселя улучшающая добротность. Характеристики, полученные автором в ходе эксперимента, представлены в табл. 1.

Особое внимание авторов было уделено на использование и усовершенствование каскодной структуры УРУ, о преимуществах и недостатках которого упоминалось в разделе II. Например, в работе [7] автором рассматривается каскодная структура распределенного усилителя мощности на основе GaN НЕМТ.

Используемая структура каскода (рис. 8) позволяет увеличить рекомендуемое рабочее напряжение питания с 15 В до 30 В, в результате чего достигается более высокая мощность благодаря применению технологического GaN НЕМТ процесса (табл. 1). В данной работе представлена структура аналогична обычной каскодной реализации за исключением того, что на затворе первого транзистора каждой каскодной ячейки используется RC корректирующая цепь, обеспечивающая более низкую эффективную входную емкость,

более высокую полосу пропускания мощности и производительность основной полосы частот. Подобного вида схема (рис. 8) позволяет использовать транзисторы с большей шириной затвора и более высокий общий ток, демонстрируя улучшение характеристик линейности и полосы пропускания.

Таблица 1

Сравнение опубликованных GaN микросхем

Источник	[7]	[8]	[9]
Δf , ГГц	2–18	DC–24	0,1–45
$ S_{21} $, дБ	10–14	16	9–15
$ S_{11} $, дБ	-10	-15	-10
$ S_{22} $, дБ	-10	-15	-10
NF, дБ	–	3	1.6
$P_{\text{Вых}}$ 1 дБ, дБм	39,5–41,7	30,3	33
Тех. Процесс	0,25мкм GaN HEMT	0,2 мкм GaN HEMT	0,15мкм GaN HEMT
Размер, мм ²	5,54x2,77	3,2x1,5	2,3x1,2

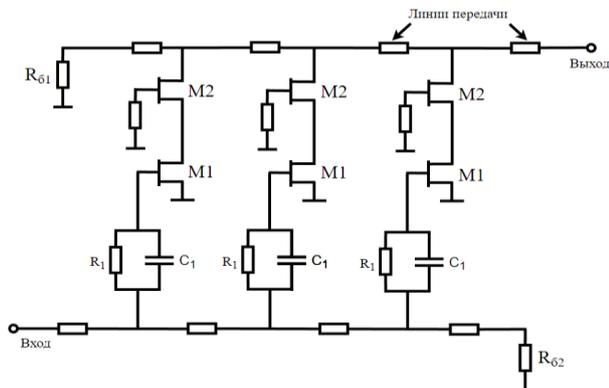


Рис. 8. Структура каскодной схемы с корректирующей RC цепью

Для улучшения характеристик авторы используют нестандартные решения модернизации существующих классических структур. В работе [9] автор описывает маломощную архитектуру схемы УРУ с активной балансной нагрузкой (рис. 9), которая реализована на основе GaN HEMT технологии.

Внедрение активной нагрузки в структуру каскодной схемы обеспечивает уменьшение низкочастотного коэффициента шума (табл. 1). Кроме того, данная архитектура не ухудшает линейность по сравнению со структурой каскодной схемы, использующей резистивную нагрузку. Цепь балансной активной нагрузки (рис.10) состоит из полевого транзистора T1 с параллельной обратной связью, которая позволяет настроить на оптимальный импеданс нагрузки.

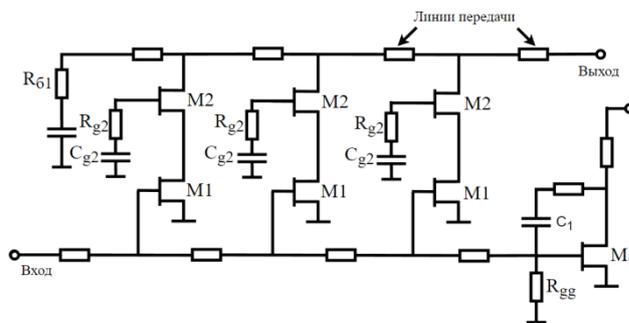


Рис. 9. Структура каскодной схемы с активной балансной нагрузкой входной согласующей цеп

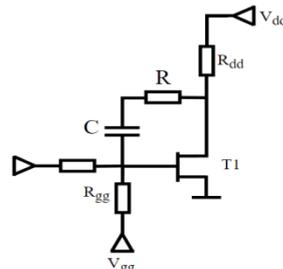


Рис. 10. Схема активной нагрузки

Архитектура УРУ с активной нагрузкой продемонстрировала более низкий уровень шума, нежели архитектура с резистивной нагрузкой, но, в свою очередь, активная нагрузка может генерировать нежелательные искажения обратно на вход усилителя, что может привести к ухудшению линейности [9].

На данный момент ведутся активные исследования в области GaN HEMT технологического процесса, в связи с чем УРУ, разработанные по данной технологии, не преобладают в коммерческом секторе в основном из-за дороговизны производства. Иная ситуация обстоит с GaAs pHEMT. Являясь более ранней технологией, УРУ в основном производились на ее основе, из-за чего коммерческий сектор преимущественно занимают усилители на основе GaAs (табл. 3).

Интересные решения по улучшению характеристик УРУ также встречаются и при рассмотрении GaAs технологического процесса. В работе [10] представлен каскодный маломощный УРУ с функцией регулировки усиления (рис. 11), основанный на технологии GaAs pHEMT.

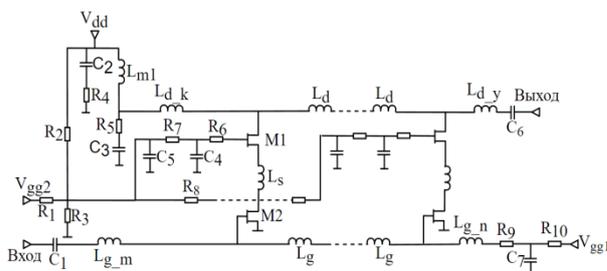


Рис. 11. Структура каскода с регулировкой усиления

Используемая структура из 9 ячеек усиления обеспечивает требуемые характеристики линейности с параметрами указанными в табл. 2. Для эффективного расширения входного напряжения и полосы пропускания применяется иной подход к созданию каскодной ячейки, которая в отличие от классической структуры применяет индуктивность, расположенную между линией исток-сток двух транзисторов, обеспечивающий расширение выходного напряжения и полосы пропускания. Так как потери технологии GaAs pHEMT намного ниже, чем в кремниевом технологическом процессе из-за высокого удельного сопротивления подложки, используются 9 ячеек усиления, для получения высокого коэффициента усиления по напряжению, при этом сохраняя низкое энергопотребление. Функция регулировки усиления выполняется путем добавления дополнительного напряжения V_{gg2} , которое может напрямую влиять на смещение затвора транзистора M1 и управлять прямым усилением схемы путем подачи соответствующего сигнала напряжения на порт V_{gg2} . Описанные факторы обеспечивают равномерное изменение коэффициента передачи в широкой полосе частот УРУ.

Наряду с усовершенствованием каскодной реализации GaN HEMT технологии, в GaAs pHEMT существуют не менее интересные примеры реализаций, как в ранее рассмотренной публикации [10], так и в работе [11], описывающей реализацию и экспериментальную проверку (табл. 2) каскодного распределенного усилителя с 6 ячейками усиления (рис. 12) на основе GaAs pHEMT.

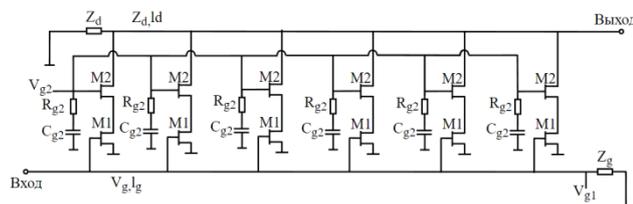


Рис. 12. Структур каскода с 6 ячейками усиления

Данная структура используется в качестве предварительного усилителя для драйвера оптического модулятора с предъявляемыми требованиями по широкой полосе пропускания и низкой групповой задержке, необходимой для ограничения искажения формы сигнала. Основной акцент был сделан на то, как влияние периферии транзистора сказывается на изменение параметра групповой задержки. Автором было доказано, что размер транзистора оказывает большое влияние на вышеупомянутый параметр. Наилучшим вариантом уменьшения разброса времени групповой задержки стало использование каскодной структуры с транзисторами с малым затвором в качестве ячейки УРУ. Помимо этого, было уделено внимание стабильности усилителя. Решением стало включение резистора R_{g2} последовательно с небольшим конденсатором C_{g2} (рис. 11) в затворе второго транзистора, что позволило уменьшить максимальное значение выходного импеданса и увеличить полосу пропускания. В свою очередь, компоненты введенные в усилительную ячейку

для повышения стабильности (R_{g2} , C_{g2}) не оказывают влияние на групповую задержку.

Немаловажно, в процессе проектирования, уделять особое внимание не только выбору структуры для проектирования УРУ, но и расчетам паразитных параметров, что и сделал автор работы [12], используя каскодный широкополосный распределенный усилитель с 9 ячейками усиления на основе GaAs pHEMT.

Классическая каскодная структура была выбрана благодаря высокому коэффициенту усиления и широкой полосе пропускания. Акцент работы, как было сказано выше, был сделан на расчет паразитных параметров распределенного усилителя посредством сравнения эквивалентной модели с сетевой моделью Y-параметров, за счет чего были рассчитаны номиналы элементов, используемых в ячейках усиления. Основные результаты измерений отображены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение опубликованных GaAs микросхем

Источник	[10]	[11]	[12]
Δf , ГГц	2–20	DC–40	DC–30
$ S_{21} $, дБ	15	13	16
$ S_{11} $, дБ	-10	-14	-8
$ S_{22} $, дБ	-10	-14	-15
NF, дБ	2,6–4,6	–	–
$P_{\text{Вых1}}$ дБ, дБм	13,8	16	25
Тех. Процесс	0,15 мкм GaAs pHEMT	0,15 мкм GaAs pHEMT	0,15 мкм GaAs pHEMT
Размер, мм ²	2,36 x 1,01	2,3x 1,3	3 x 1,2

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

УРУ является актуальным решением для реализации широкополосных усилителей. Подобное схемотехническое решение, по сравнению другими реализациями (разд. I), позволяет получить равномерный коэффициент усиления и выходной мощности в широком диапазоне частот. На данный момент УРУ применяется в различных отраслях радиоэлектроники: широкополосная техника связи и телевидения, импульсная и измерительная техника, экспериментальная техника, а также в областях ядерной физики. Распределенный усилитель является одной из хорошо зарекомендовавшей себя конструкцией широкополосного усилителя.

На основании проведенного обзора следует отметить работы с нестандартными подходами к достижению требуемых характеристик. Структура УРУ открывает возможность вариативности схемы. В разделе II было выделено несколько интересных решений проектирования УРУ:

- классическая схема УРУ с общим истоком и неоднородной структурой, которая позволяет сохраняя оптимальный импеданс увеличить выходную мощность:

- каскодная схема с корректирующей RC цепью, которая выравнивает коэффициент усиления;
- схема с активной балансной нагрузкой позволившая получить оптимальную балансную нагрузку на затворной линии передачи, тем самым уменьшить низкочастотный коэффициент шума;
- каскодная схема с регулировкой усиления, что позволяет управлять прямым усилением схемы, изменяя напряжение смещения одного из транзисторов.

Проведённый сравнительный анализ показал, что технологии GaN и GaAs при одинаковых массогабаритных и усилительных характеристиках, GaN имеет более высокую мощность, но на данный момент GaN является более дорогостоящей (табл. 1 и 2).

Усилители на основе технологии GaAs получили широкое распространение на рынке микроэлектроники

(табл. 3) за счет оптимального компромисса с точки зрения стоимости, электрических характеристик и стабильности, по сравнению с УРУ на основе GaN. Одними из ключевых проблем коммерческого распространения GaN широкополосных усилителей является более высокая стоимость технологического производства. Однако по мере совершенствования технологий GaN является более предпочтительной. GaN технология имеет высокие напряжения пробоя при повышенной теплопроводности, достигает сравнимой полосы пропускания, коэффициента шума как и в GaAs, но при этом имеет высокий уровень выходной мощности. Это делает GaN привлекательной технологией для создания СВЧ-компонентов с широким динамическим диапазоном. Помимо этого, данный технологический процесс в сочетании с УРУ достаточно гибок и позволяет охватить многодиапазонную работу устройства.

Таблица 3

Сравнение микросхем имеющих на рынке

ОММИС [13]										
№	Модель	Δf , ГГц	$ S_{21} $, дБ	P1dB, дБ	NF, дБ	ОИРЗ, дБ	Потр., мА	VDD, В	Тех. Процесс	Размер, мм ²
1	CGY 2141UH/C1	0,01–46	16	21	2	–	195	5	GaAs	1,27–1,67
2	CGY 2144UH/C2	0,01–54	13	15	2,5	–	100	5	GaAs	1,49–2,17
3	CGY 2145UH/C1	0,5–45	13	18	2,6	–	85	5	GaAs	1,85–1,06
4	CGY 2160UH/C1	1,5–47	14	19	2,5	–	103	5	GaAs	1,49–2,58
Qorvo [14]										
5	CMD192	DC–20	19,5	24,5	1,9	31	200	5,0–8	GaAs	–
6	CMD201	DC–20	12	29	3,4	38	400	10	GaAs	–
7	CMD233	2,0–20	9	20,5	4,5	24	120	3,0–6	GaAs	–
8	CMD240	DC–22	15	19	2,2	28	80	5,0–8	GaAs	–
Analog Devices [15]										
9	HMC907A	0,2–22	14	28	~6	41	350	10	GaAs	2,92–1,35
10	HMC797A	DC–22	15	29	~3,2	41	400	10	GaAs	2,89–1,55
11	HMC994A	DC–30	14	28	~4	39	250	10	GaAs	2,75–1,45
12	HMC465	DC–20	17	24	2,5	–	160	8	GaAs	3,04–1,56
Светлана–Рост [16]										
13	SVA0402	2,5–18	7,5	15	–	–	60	3	GaAs	1,95–1,3
14	SVA0403	2,5–20	11	15,5	–	–	75	8	GaAs	3,0–1,55
15	SVA0405	2,5–20	22	18	–	–	180	7	GaAs	2,10–2,05
16	SAB0601	2,0–50	12	17,8	5	–	110	7	GaAs	2,4–1,7

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bahl. I. Microwave Solid State Circuit Design // Wiley-Interscience; 2nd edition. 2013. P. 910.
- [2] URL: <https://www.electronics.ru/journal/article/28> (дата обращения: 4.07.2022)

- [3] Alizadeh A. Design of a 2–12-GHz Bidirectional Distributed Amplifier in a 0.18- μ m CMOS Technology // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2018. V. 67. № 2. P. 754–764.
- [4] Kuo-Liang D. Design and analysis of novel high-gain and broad-band GaAs pHEMT MMIC distributed amplifiers with traveling-wave gain stages // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2003. V. 51. № 11. P. 2188–2196.
- [5] URL: https://www.semiconductor-today.com/news_items/2010/JAN/FATIMY_280110.htm (дата обращения: 14.07.2022)
- [6] Dennler P. 8–42 GHz GaN non-uniform distributed power amplifier MMICs in microstrip technology // 2012 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium Digest. 2012.
- [7] Campbell C. A Wideband Power Amplifier MMIC Utilizing GaN on SiC HEMT Technology // IEEE Journal of Solid State Circuits. 2009. V. 44. № 10. P. 2640–2647.
- [8] Kobayashi K. W. Multi-decade GaN HEMT Cascode-distributed power amplifier with baseband performance // 2009 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium. 2009.
- [9] Kobayashi K. W. A Novel 100 MHz–45 GHz Input-Termination-Less Distributed Amplifier Design With Low-Frequency Low-Noise and High Linearity Implemented With A 6 Inch 0.15 μ m GaN-SiC Wafer Process Technology // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2016. V. 51. № 9. P. 2017–2026.
- [10] Ying Z. Design of a low noise distributed amplifier with adjustable gain control in 0.15 μ m GaAs PHEMT // Journal of Semiconductors. 2012.
- [11] Diego L. A DC to 40 GHz, High Linearity Monolithic GaAs Distributed Amplifier with Low DC Power Consumption as a High Bit-Rate Pre-Driver // 2018 48th European Microwave Conference (EuMC). 2018.
- [12] Yang J. An ultra-wideband distributed amplifier MMICs based on 0.15- μ m GaAs pHEMT technology // International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. 2019. V. 33. № 3.
- [13] URL: <https://www.ommic.com/wideband-amplifiers/> (дата обращения: 2.08.2022)
- [14] URL: <https://www.qorvo.com/products/amplifiers/distributed-amplifiers> (дата обращения: 2.08.2022)
- [15] URL: <https://www.analog.com/en/parametricsearch/10678> (дата обращения: 2.08.2022)
- [16] URL: <http://www.svetlana-rost.ru/?page=widebandamplifiers> (дата обращения: 2.08.2022)

Distributed Power Amplifiers

N.I. Gogolev, A. Salikh, D.S Bragin, V.D Dmitriev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

Russia, 634045 Tomsk, st. Lenin, 40, sak@csp.tusur.ru

Abstract — In this paper, we reviewed the published integrated amplifiers circuits with distributed amplification (DA). We selected and evaluated several publications for their features, advantages and disadvantages in comparison with other types of broadband amplifiers. Modern devices under development are becoming faster. This process is key in the development trend of modern radio engineering. This leads to increased requirements for other technical parameters: noise immunity, stability, reliability, etc. In turn, an amplifier with distributed amplification is referred to as a promising device for broadband amplification. This structure allows you to add the power of high-frequency signals. The first section describes the various methods available for implementing broadband amplifiers. In this section we gave descriptions and equivalent circuits of a transistor feedback amplifier, a balanced amplifier, an amplifier with reactive-dissipative matching, and a distributed amplifier. The first section covers the topic of DA in more detail, the advantages and disadvantages of implementing such schemes. We described a distributed amplifier with a cascode structure, its features and design problems, and compared it with a classical circuit design solution. This section contains important information about the technological processes used and which are necessary to design an DA or any other microcircuit. The second section cover the topic of the existing developments of integrated microwave amplifiers with distributed amplification based on GaN and GaAs technological processes. Here we talked

about the various approaches to solving the problems that the authors of these works encountered in order to achieve the set requirements. We followed the differences in the studied technological processes that the authors used. Further in the table, we compared the main characteristics of the microcircuits. At the end of paper, we have given a summary table of microcircuits available on the market.

Keywords — gallium arsenide (GaAs), gallium nitride (GaN), HEMT, cascode, DA, wide frequency band.

REFERENCES

- [1] Bahl. I. Microwave Solid State Circuit Design // Wiley-Interscience; 2nd edition. 2013. P. 910.
- [2] URL: <https://www.electronics.ru/journal/article/28> (дата обращения: 4.07.2022)
- [3] Alizadeh A. Design of a 2–12-GHz Bidirectional Distributed Amplifier in a 0.18- μ m CMOS Technology // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2018. V. 67. № 2. P. 754–764.
- [4] Kuo-Liang D. Design and analysis of novel high-gain and broad-band GaAs pHEMT MMIC distributed amplifiers with traveling-wave gain stages // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2003. V. 51. № 11. P. 2188–2196.
- [5] URL: https://www.semiconductor-today.com/news_items/2010/JAN/FATIMY_280110.htm (access date: 14.07.2022)

- [6] Dennler P. 8–42 GHz GaN non-uniform distributed power amplifier MMICs in microstrip technology // 2012 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium Digest. 2012.
- [7] Campbell C. A Wideband Power Amplifier MMIC Utilizing GaN on SiC HEMT Technology // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2009. V. 44. № 10. P. 2640–2647.
- [8] Kobayashi K. W. Multi-decade GaN HEMT Cascode-distributed power amplifier with baseband performance // 2009 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium. 2009.
- [9] Kobayashi K. W. A Novel 100 MHz–45 GHz Input-Termination-Less Distributed Amplifier Design With Low-Frequency Low-Noise and High Linearity Implemented With A 6 Inch 0.15 μm GaN-SiC Wafer Process Technology // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2016. V. 51. № 9. P. 2017–2026.
- [10] Ying Z. Design of a low noise distributed amplifier with adjustable gain control in 0.15 μm GaAs PHEMT // Journal of Semiconductors. 2012.
- [11] Diego L. A DC to 40 GHz, High Linearity Monolithic GaAs Distributed Amplifier with Low DC Power Consumption as a High Bit-Rate Pre-Driver // 2018 48th European Microwave Conference (EuMC). 2018.
- [12] Yang J. An ultra-wideband distributed amplifier MMICs based on 0.15- μm GaAs pHEMT technology // International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. 2019. V. 33. № 3.
- [13] URL: <https://www.ommic.com/wideband-amplifiers/> (дата обращения: 2.08.2022)
- [14] URL: <https://www.qorvo.com/products/amplifiers/distributed-amplifiers> (дата обращения: 2.08.2022)
- [15] URL: <https://www.analog.com/en/parametricsearch/10678#/>(дата обращения: 2.08.2022)
- [16] URL: <http://www.svetlana-rost.ru/?page=widebandamplifiers> (дата обращения: 2.08.2022)