

РАЗРАБОТКА БЛОКА МАЛОШУМЯЩЕГО ШИРОКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ СВЧ

В статье рассматривается практическая реализация блока широкополосного малошумящего СВЧ-усилителя, работающего в диапазоне частот 30 МГц — 10 ГГц с коэффициентом шума не более 2 дБ и коэффициентами усиления 25 дБ в диапазоне до 2 ГГц и 20 дБ в диапазоне 2–10 ГГц, в программе AWR.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство приборов, не имеющих встроенного усилителя, не могут регистрировать слабые сигналы, так как их уровень ниже фоновый уровень устройства. Поэтому именно МШУ является одним из ключевых элементов приемно-передающего тракта и позволяет принимать и обрабатывать низкочастотные сигналы без существенного изменения отношения сигнал/шум.

ТЗ для МШУ

Техническое задание представлено в таблице 1.

Таблица 1. Техническое задание

Параметр	Требуемое значение
Диапазон рабочих частот	30 МГц — 10 ГГц
Коэффициент усиления по напряжению, дБ, в диапазоне частот	
30 МГц — 10 ГГц	25
3–10 ГГц	20
Коэффициент шума при +25 °С, не более, дБ	2
Входное напряжение, эффективное значение, В, не более	0,1
КСВН по входу, не более	2

ВЫБОР ТРАНЗИСТОРА

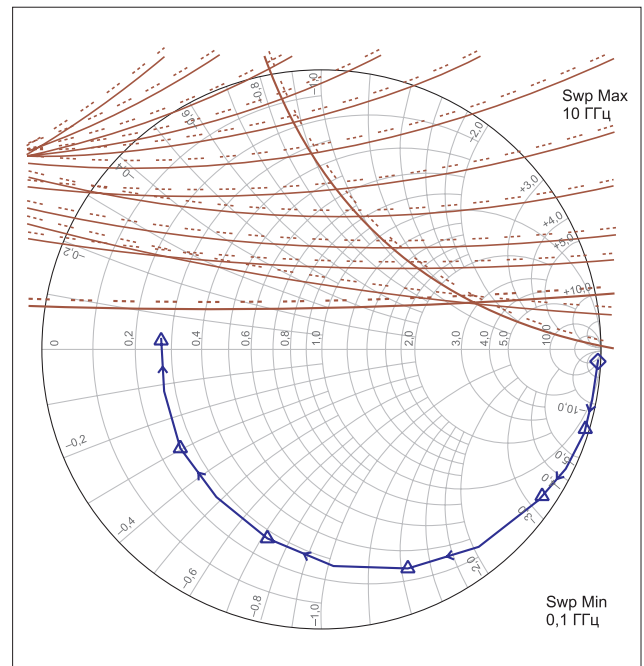
В качестве транзистора взят полевой транзистор с барьером Шоттки (ПТШ) NE76038 производителя NEC с диапазоном частот 30 МГц — 10 ГГц. Выбор сделан с учетом таких параметров, как диапазон рабочих частот, коэффициент усиления, коэффициент шума, напряжение стока. По сравнению с биполярным транзистором ПТШ обеспечивает в заданном диапазоне частот более высокое усиление при более низком уровне шумов.

Выбор схемы включения транзистора произведен с учетом получения наилучших усилительных свойств прибора, а также минимальных потерь, поэтому схема с общим истоком (ОИ), обладающая большей устойчивостью по сравнению со схемами с общим стоком (ОС) и затвором (ОЗ), оказалась предпочтительной.

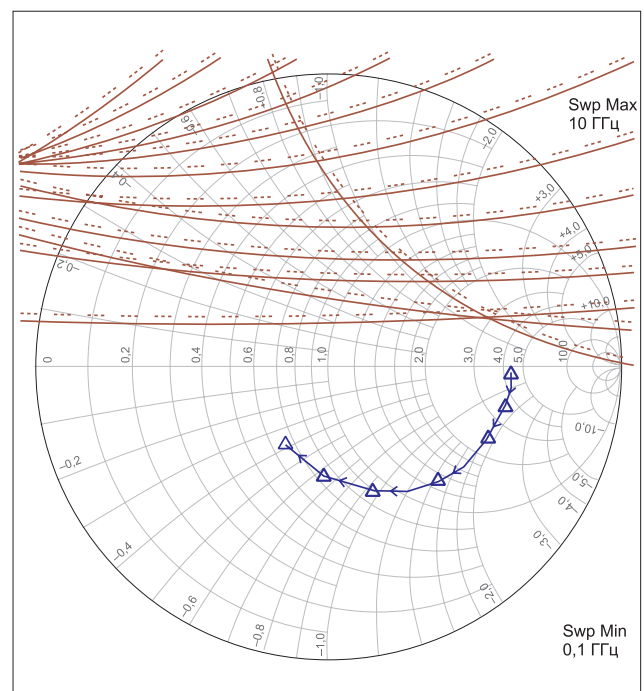
В качестве рабочей точки выбрано значение напряжения, при котором достигается минимальный коэффициент шума и достаточная величина коэффициента усиления, в этой точке значение напряжения сток-исток $V_{СИ} = 3$ В, а ток стока $I_{СИ} = 10$ мА. Состояние рабочей точки обеспечивается с помощью подачи напряжения на затвор транзистора $V_{ЗИ} = -0,3$ В.

ПРОВЕРКА КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНЗИСТОРА

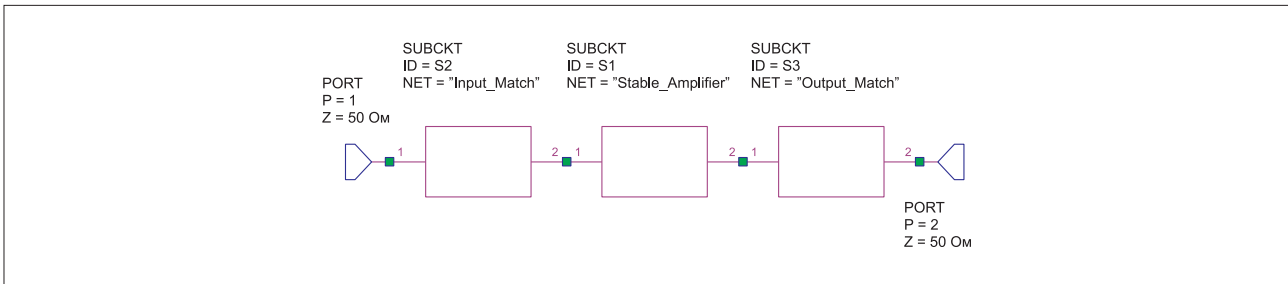
Важнейшим условием нормальной работы транзисторного усилителя СВЧ является его устойчивость, которая определяется S-параметрами транзистора и сопротивлениями, на которые он нагружен.



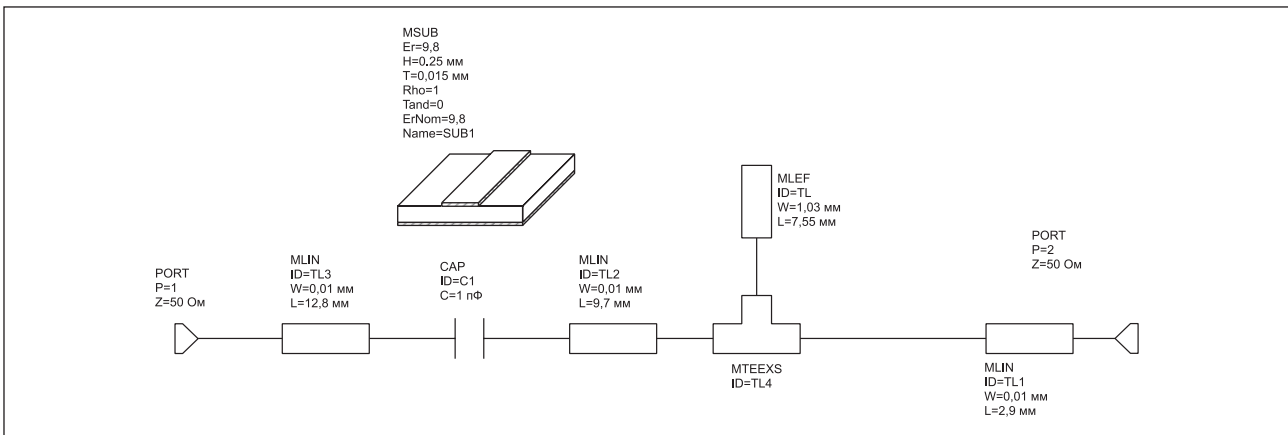
▲ Рис. 1. Области входной устойчивости



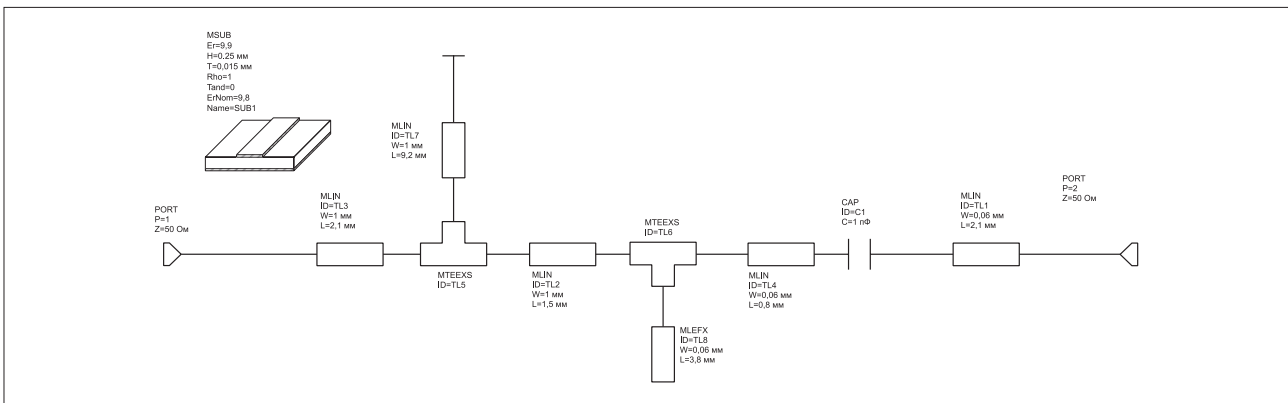
▲ Рис. 2. Области выходной устойчивости



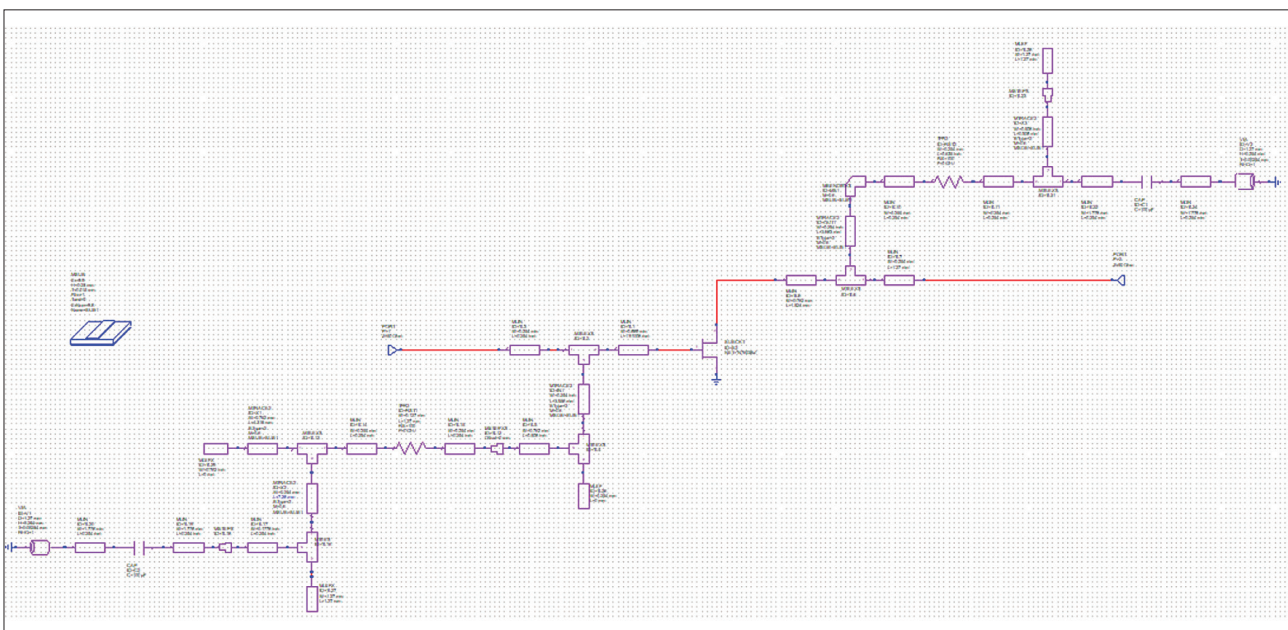
▲ Рис. 3. Структурная схема согласования каскадов и ЦЧ



▲ Рис. 4. Схема входной ЦЧ



▲ Рис. 5. Схема выходной ЦЧ



▲ Рис. 6. Схема электрическая принципиальная двухкаскадного усилителя СВЧ

В усилителе всегда присутствуют внутренние и внешние паразитные связи, которые приводят к тому, что при работе на высоких частотах транзистор утрачивает свое свойство независимости и при определенных соотношениях нагрузочных сопротивлений уходит в режим самовозбуждения, который возможен в том случае, когда активные составляющие входного и выходного сопротивлений принимают отрицательные значения, при этом входное сопротивление зависит от нагрузки, а выходное – от генератора.

Для отображения областей устойчивости данного транзистора определены центры устойчивости и радиусы окружностей устойчивости.

и потере усилительных свойств. Синий график показывает режим работы транзистора.

Для построения диаграмм использовалась система автоматизированного проектирования — САПР AWR.

СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ МШУ

Маломощный транзисторный усилитель СВЧ может быть представлен в виде четырехполюсника, описываемого волновыми параметрами матрицы рассеяния (системой S-параметров). Данные параметры определяются методом измерения падающих и отраженных волн или рассчитываются по уже известным Y-параметрам усилителя. Структурная

$R_n = Z_0$, где Z_0 – входное и выходное сопротивление. Усилитель должен включать в себя согласующие цепи (СЦ), трансформирующие входное и выходное сопротивление Z_0 в сопротивления генератора и нагрузки. Транзисторный усилитель может обеспечить заданные электрические характеристики только если он правильно нагружен, то есть сопротивления источника сигнала и нагрузки в плоскости транзистора должны иметь определенные значения. Так как СВЧ-транзисторы плохо согласованы с необходимым волновым сопротивлением (50 Ом) на входе и выходе СВЧ-тракта, без СЦ не удалось бы достичь необходимого уровня согласования в широкой полосе частот. На рис. 4–5 представлены результаты сборки входной и выходной согласующих цепей.

Далее произведен выбор схемы питания и расчет всех элементов усилителя. Питание транзистора осуществляется двумя способами: с использованием двухполярного источника напряжения или однополярного с автосмещением транзистора. Цепь автосмещения R и C в последнем случае является цепью отрицательной обратной связи по постоянному току, стабилизирующей параметры транзисторного усилителя. Потери шунтирующих конденсаторов ухудшают параметры усилительного каскада, особенно с повышением частоты. Учитывая это, в качестве схемы питания выбрана схема питания с двухполярным источником напряжения, который раз-

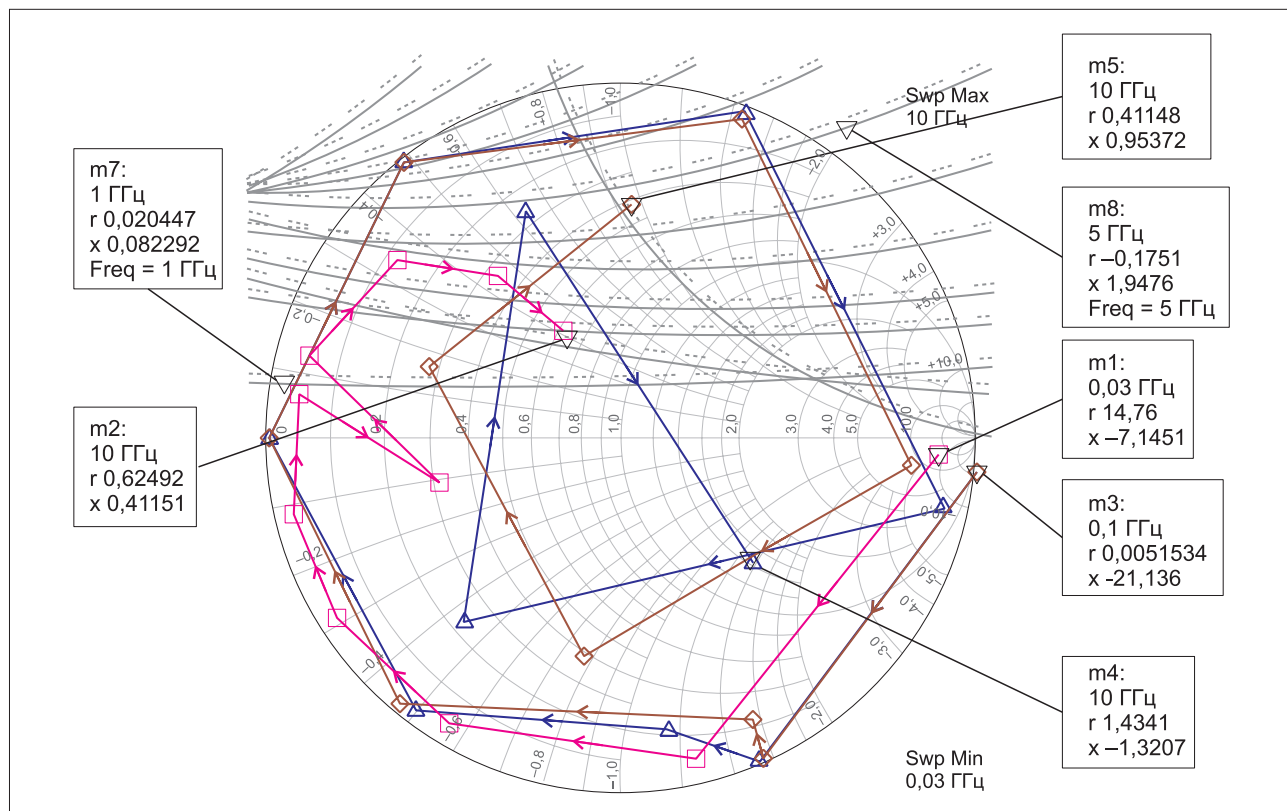
Таблица 2. Перечень элементов для полученной и рассчитанной схемы

Поз. обозн.	Номинал	Наименование	Кол-во	Примечание
Конденсаторы				
C1–C4	1 пФ	0805 1пФ 50В NPO, 2,5×2 мм	4	SMD
Резисторы				
R1, R3	1,5 кОм	0,1 Вт 0402 1,5 кОм, 1%, 6,5×1,3 мм	2	SMD-резистор
R2, R4	100 Ом	0,063 Вт 0603 0м, 1%, 3,2×2,5 мм	2	SMD-резистор
Транзисторы				
VT1, VT2		NE76038	2	

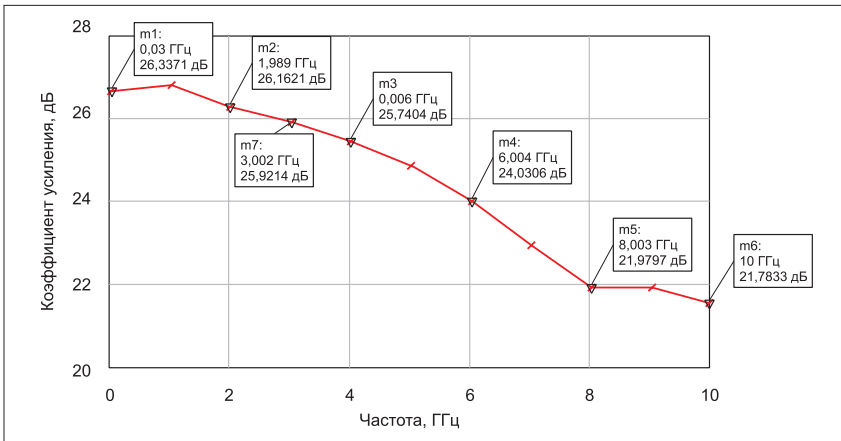
На диаграмме Вольперта-Смита отмечены полученные области. Результаты представлены на рис. 1–2. Красным цветом отмечены области, в которых работа усилителя приведет его к режиму насы-

схема согласования такого усилителя представлена на рис. 3.

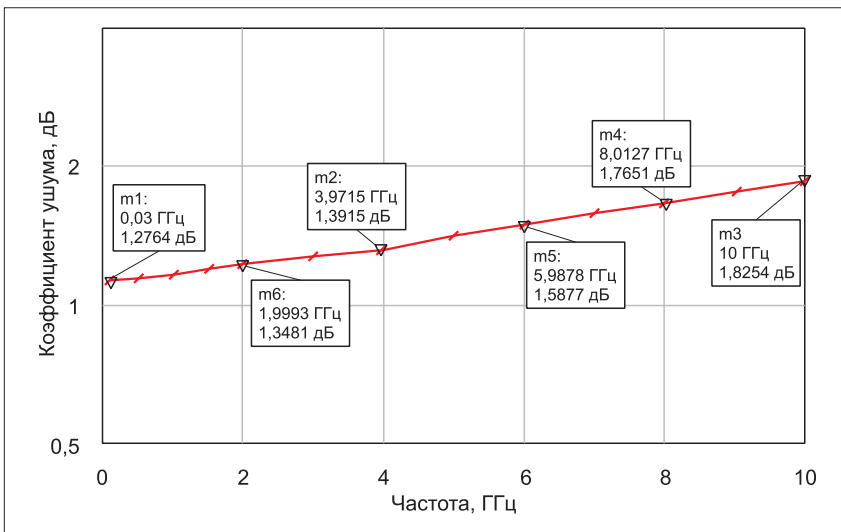
Усилитель согласуется по входу и выходу с источником генератора $R_g = Z_0$ и источником нагрузки



▲ Рис. 7. Области устойчивости каждой подцепи отдельно



▲ Рис. 8. Зависимость коэффициента усиления от частоты



▲ Рис. 9. Зависимость коэффициента шума от частоты

дельно питает цепь затвора и цепь стока ПШТ.

Транзистор находился в области потенциальной устойчивости (ОПУ) на частотах до 9 ГГц, так как на этих частотах $K < 1$. Для перевода его в область безусловной устойчивости (ОБУ) было использовано стабилизирующее сопротивление R1, выполненное последовательным включением, так как транзистор теряет устойчивость в режиме, близком к короткому замыканию. Аналогично добавлено сопротивление R3 для второго транзистора.

Для уменьшения неравномерности усиления, а также коэффициента шума в схему добавлены и рассчитаны номиналы сопротивлений R2, R4 и волновые сопротивления Z2, Z4. Сопротивление R2 закорочено на землю микрополосковой линией l2, соответственно R4 закорочено линией l4. Эти длины равны четверти длины волны в линии на верхней частоте, благодаря чему сопротивление на этой частоте изолировано от заземленной стороны платы и не поглощает мощность.

Исходя из полученных данных была произведена сборка схемы двухкаскадного УСВЧ. Результаты можно увидеть ниже на рис. 6.

Перечень элементов для полученной и рассчитанной схемы приведен в таблице 2. Для достижений оптимальных значений сделана коррекция с помощью инструмента Tools TXLine и Tune в программном обеспечении AWR.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для того чтобы проверить эффективность работы полученного усилителя были построены области устойчивости каждой подцепи отдельно. Результаты представлены на рис. 7.

Серый график отображает области, где работа усилителя приведет его к режиму насыщения и потере усилительных свойств. Синий график показывает устойчивость работы на выходе усилительного каскада. Коричневый график демонстрирует устойчивость на выходе согласующей цепи. Розовый график характеризует устойчивость работы на выходе блока усилителя СВЧ.

Выводы

Усилитель устойчив во всем диапазоне частот. Выполнен расчет коэффициентов усиления и шума. Результаты представле-

ны на рис. 8–9. Для получения оптимального шума расчет проведен в режиме минимизации коэффициента шума.

Коэффициент усиления в диапазоне частот 30 МГц — 10 ГГц имеет значение 22–26 дБ, что соответствует требованиям ТЗ.

Максимальное значение коэффициента шума во всем диапазоне рабочих частот при двухкаскадном усилении достигает 1,7 дБ, что также соответствует требованиям ТЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам расчетов видно, что коэффициент усиления в диапазоне частот 30 МГц — 3 ГГц принимает значения 26,3–25,9 дБ соответственно, что отвечает требованиям ТЗ (не менее 25 дБ). В диапазоне частот 3–10 ГГц минимальный коэффициент усиления имеет значение 21,8 дБ, что также соответствует заявленным требованиям (не менее 20 дБ). Неравномерность усиления во всем диапазоне частот составила 4,5 дБ, что совпадает с нормами.

Максимальное значение коэффициента шума во всем диапазоне рабочих частот при двухкаскадном усилении достигает 1,8 дБ, что согласуется с условиями, заявленными в ТЗ, — не более 2 дБ.

Таким образом, разработанный усилитель в полной мере соответствует требованиям, указанным в техническом задании. ●

ЛИТЕРАТУРА

NE76038 LOW NOISE L TO Ku-BAND GaAs MESFET. www.alldatasheet.com/