

**И.В. Кручинин, А.В. Левашов**

ЗАО «Научно-производственное предприятие «Салют25»

## Широкополосный МШУ диапазона 2-18 ГГц

*Разработан сверхширокополосный МШУ полностью на элементной базе российского производства, приведена схема его построения. Показана конструкция и приведены характеристики сверхширокополосного квадратурного направленного ответвителя, работающего в декадном диапазоне. Достигнутые характеристики находятся на уровне отечественных и зарубежных аналогов.*

**Ключевые слова:** Малошумящий усилитель, СВЧ МШУ

Сверхширокополосные СВЧ МШУ находят широкое применение в качестве входных усилителей в различных устройствах. Примерами подобных устройств являются различные измерительные преобразователи, широкополосные радиолокаторы и аппаратура связи.

Иностранные производители предлагают микросхемы широкополосных МШУ, типовой коэффициент шума (Кш) которых находится в пределах 2,5...4 дБ в диапазоне частот 2-18 ГГц [1-3]. После монтажа в корпус можно получить СВЧ МШУ с Кш в районе 3...4 дБ в рабочем диапазоне частот. К сожалению, отечественная промышленность не выпускает подобных микросхем усилителей.

В данной работе рассматривается сверхширокополосный МШУ диапазона 2-18 ГГц с Кш не более 4,5 дБ построенный полностью на отечественной элементной базе.

Разработка сверхширокополосного малошумящего усилителя диапазона 2-18 ГГц на отечественной элементной базе является нетривиальной задачей. Подобный усилитель может быть построен по схеме с отрицательной обратной связью (ООС), как усилитель с распределенным усилением (УРУ, distributed amplifier) или на балансных каскадах.

Усилитель с распределенным усилением, выполненный на дискретных элементах, требует сложной подстройки из-за разброса параметров транзисторов даже в рамках одной партии, отличается сложностью конструкции и значительными габаритами. Их реализация оправдана только в монолитных интегральных схемах.

После рассмотрения различных вариантов построения входных каскадов выбрана балансная схема. Она позволяет проводить согласование по минимуму Кш при приемлемом согласовании входа и выхода. Чтобы Кш последующих каскадов не оказывал заметного влияния на параметры модуля усилителя, коэффициент усиления ( $K_u$ ) входного каскада должен быть не менее 7...10 дБ.

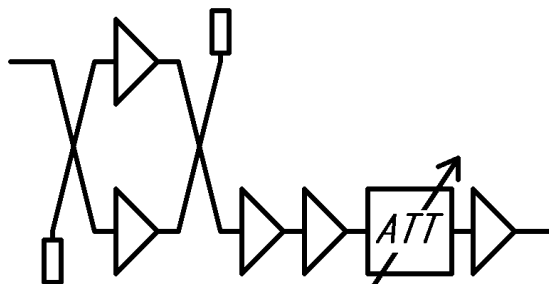


Рисунок 1.

В усилителе с ООС для обеспечения приемлемого согласования, каскад необходимо охватить глубокой ООС, но при этом значительно ухудшается Кш и падает Ку. Применение каскадов с ООС в качестве входных не рационально, но из-за простоты реализации, регулировки и повторяемости параметров возможно их применение во втором и последующих каскадах. Полученная в итоге схема построения модуля усилителя представлена на рисунке 1.

Для выравнивания коэффициента передачи модуля в широком диапазоне частот применены квазисосредоточенные и распределенные корректоры АЧХ, включенные между усилительными каскадами. Примером подобных корректоров являются частично подключенные резонансные контуры и частотнозависимые аттенюаторы.

Входной каскад реализован по балансной схеме. Это позволяет получить низкий КСВН входа модуля при одновременном согласовании по минимуму коэффициента шума. Для реализации каскада необходим широкополосный 3 дБ квадратурный направленный ответвитель (НО). В данном модуле НО реализован на основе ответвителя Ланге на подвешенной подложке с дополнительными областями связи в микрополосковом исполнении. Конструкция и топология НО показаны на рисунке 2.

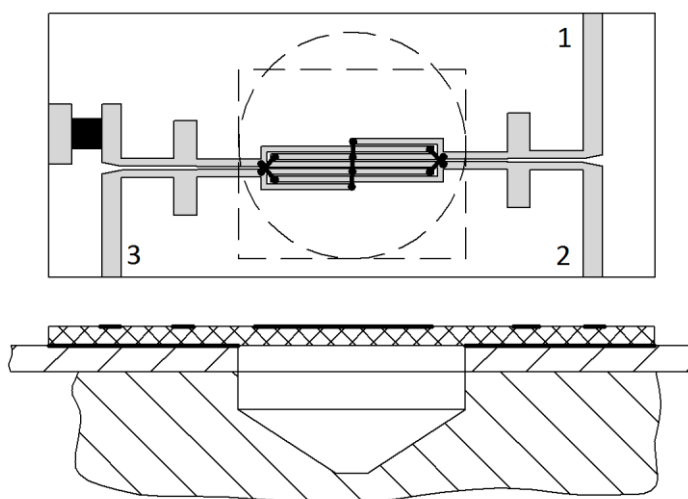


Рисунок 2.

Ответвитель реализован на поликоровой подложке толщиной 0,25 мм. На обратной стороне подложки в экране расположено окно. Плата монтируется пайкой на основание, под которым выполнена выборка в корпусе модуля. Таким образом, средняя часть ответвителя расположена на подвешенной подложке и расстояние до экрана составляет 1...2 мм.

Для расширения рабочего диапазона частот по бокам подвешенной области расположены связанные линии в микрополосковом исполнении. Они позволяют расширить рабочий диапазон частот НО. На связанных линиях расположены компенсирующие шлейфы, регулирующие коэффициент связи в середине диапазона и позволяющие получить малую неравномерность деления и хорошее согласование входов.

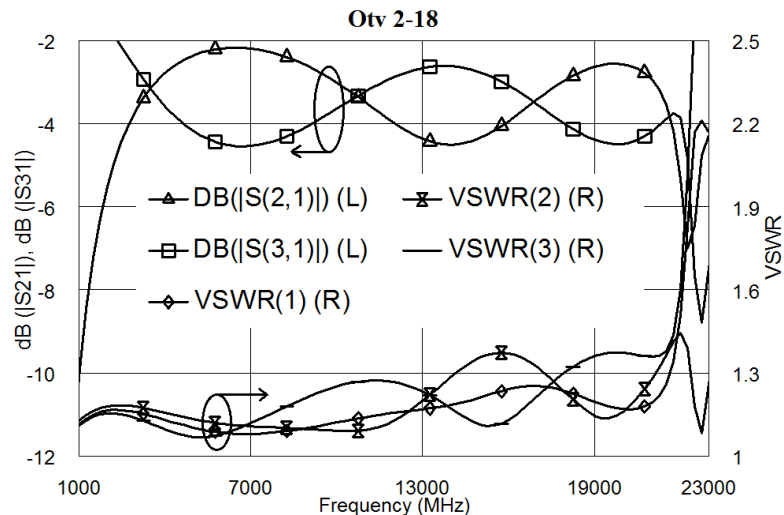


Рисунок 3.

На рисунке 3 приведены характеристики НО в широком диапазоне частот. Согласно результатам расчета и измерения ответвитель имеет декадный рабочий диапазон частот. Развязка между выходами превышает 17 дБ. Неидентичность коэффициента передачи со входа на выходы модуля не превышает 2,3 дБ, отклонение разницы фаз от  $90^\circ$  не превышает  $5^\circ$ . Разработанный НО имеет минимально возможные габариты (длина не превышает 8 мм) и отличается высокой технологичностью монтажа и регулировки.

На основе пары ответвителей реализован входной балансный каскад. Ку каскада превышает 8,5 дБ при Кш не более 3,5 дБ в верхней части рабочего диапазона при использовании транзистора 3П3103А-5.

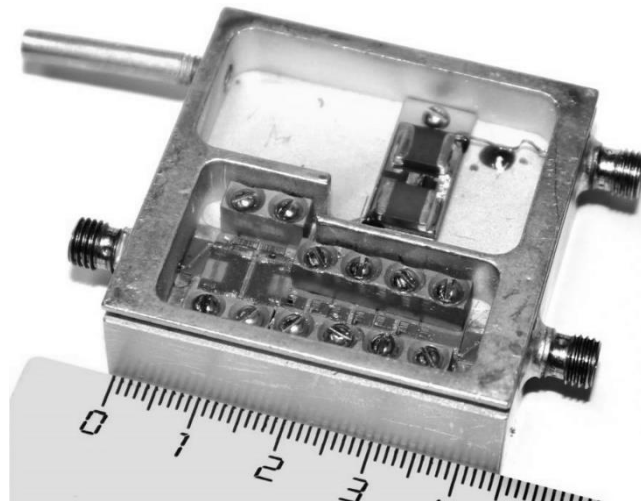


Рисунок 4.

Конструктивно модуль выполнен в герметичном корпусе с СВЧ входом и выходом типа СРГ50-751ФВ. Внутренний объем модуля заполняется инертным газом. Отдельные каскады расположены на основаниях из ковара. Основания прижимаются сплошной металлической планкой, обеспечивающей запердельный волновод для выходных каскадов. После монтажа над каскадами размещается радиопоглощающий материал. Габаритные размеры корпуса

составляют 46x46x20 мм, возможно уменьшение размеров до 25x45x15 мм. Внешний вид модуля показан на рисунке 4.

Усилители поставляются серийно в виде двух литер, отличающихся  $K_u$ . Для первой литеры он составляет 25 дБ, для второй 40 дБ. Неравномерность  $K_u$  не превышает 2 дБ. Кш модулей не более 4,5 дБ во всем диапазоне рабочих частот, КСВН входа и выхода менее 2,5. Характеристики усилителей одной из литер представлены на рисунке 5.

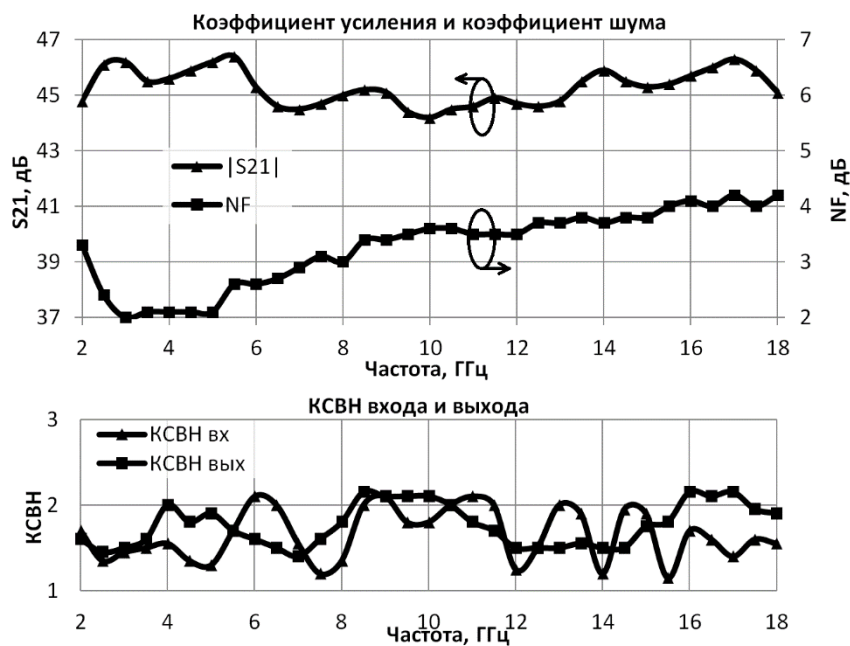


Рисунок 5.

Таким образом, удалось разработать сверхширокополосный МШУ полностью на отечественной элементной базе с параметрами на уровне отечественных и зарубежных аналогов [4-6]. Модули усилителей прошли весь необходимый комплекс испытаний и поставляются серийно.

#### Библиографический список

1. Hittite Wideband Distributed Amplifiers Режим доступа: [www.hittite.com](http://www.hittite.com)
2. Triquint Wideband Amplifiers Режим доступа: [www.triquint.com](http://www.triquint.com)
3. Avago Amplifiers. Режим доступа: [www.avagotech.com](http://www.avagotech.com)
4. СВЧ МШУ МАНW020200 АО "НПФ "Микран" Режим доступа: [www.micran.ru](http://www.micran.ru)
5. СВЧ МШУ MSLA2-20180 АО "Микроволновые системы" Режим доступа: [www.mwsystems.ru](http://www.mwsystems.ru)
6. PMI's Ultra Broad-Band LNA's Режим доступа: [www.pmi-rf.com](http://www.pmi-rf.com)