

О РЕЗУЛЬТАТАХ РАЗРАБОТКИ СВЧ-УСИЛИТЕЛЕЙ S- И С-ДИАПАЗОНОВ С ВЫХОДНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ МОЩНОСТЬЮ 150–200 Вт

Представлены результаты разработки и исследования параметров образцов усилителей мощности с выходной непрерывной мощностью 150–200 Вт в диапазонах частот 3,4–3,9 и 7,3–7,6 ГГц, построенных по схеме суммирования мощностей восьми гибридно-интегральных модулей с нитрид-галлиевыми транзисторами.



▲ Рис. 1. Внешний вид усилителя мощности С-диапазона

СХЕМА И КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Усилители мощности (УМ) представлены в едином исполнении. Это настольные приборы для эксплуатации в лабораторных или цеховых условиях с подключением внешней системы жидкостного охлаждения и возможностью дополнительного воздушного охлаждения встроенными вентиляторами (рис. 1).

Все УМ построены по схеме, показанной на рис. 2, включают в себя предварительный (ПУ) и выходной (ВУ) СВЧ-усилители, а также блоки контроля для

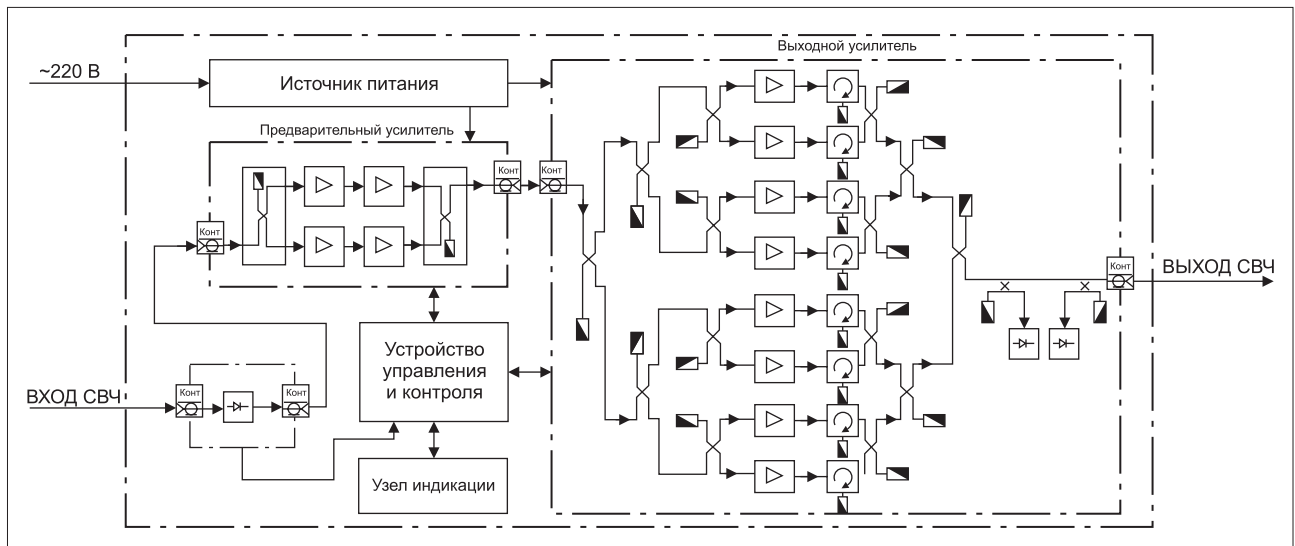
управления устройством и индикации его параметров, к которым относятся текущие входная и выходная мощности, температура, аварийное событие и др. Все элементы находятся на радиаторе с жидкостным охлаждением и помещены в металлический корпус.

В качестве ПУ используются серийно выпускаемые предприятием приборы S- и С-диапазонов.

Основой ВУ S-диапазона послужил макет усилителя, результаты разработки и исследования которого опубликованы в [1].

Выходной усилитель для С-диапазона был разработан по аналогичной схеме суммирования при помощи квадратурных 3-дБ мостов на основе секций с лицевой связью воздушной симметричной полосковой линии [2] восьми гибридно-интегральных модулей, состоящих из двух последовательно включенных балансных усилительных каскадов на основе нитрид-галлиевых транзисторов с шириной затвора 2,5 и 7 мм.

Для обеспечения работы усилителей мощности на рассогласованную



▲ Рис. 2. Структурная схема усилителей мощности S- и С-диапазонов

нагрузку (режимы КЗ и ХХ) с целью защиты выходных каскадов гибридно-интегральных модулей в сумматоре мощности предусмотрены циркуляторы Drop-In.

ЛИНИЯ ПЕРЕДАЧИ

В качестве линии передачи в мощных трактах ВУ обоих диапазонов использовалась экспериментально отработанная симметричная планарная линия [1], потери которой составляют 0,007 дБ/см на 4 ГГц и 0,03 дБ/см на 8 ГГц.

Для улучшения теплоотвода в выходном тракте используются вставки из нитрида алюминия сечением 1 мм², припаянные одной стороной к линии передачи, а другой — к корпусу ВУ.

Компенсация вносимых неоднородностей в СВЧ-тракт осуществляется с помощью рассчитанного и экспериментально проверенного компенсирующего элемента — подрезки в линии 4×0,8 мм с двух сторон в местах установки вставок.

Как видно из рис. 3, этот элемент позволяет скомпенсировать влияние вставки из AlN в частотном диапазоне вплоть до 8 ГГц.

КВАДРАТУРНЫЕ МОСТЫ S- И С- ДИАПАЗОНОВ

В схемах деления и суммирования мощностей ВУ обоих типов усилителей используются мосты с лицевой связью в виде секций воздушной симметричной полосковой линии. Фотографии макетов приведены на рис. 4.

Конструктивно каждый из мостов представляет собой две медные посеребренные пластины, припаянные к плате, толщина которой (с учетом металлизации) определяет зазор между пластинами.

Воздух, как диэлектрик с наименьшей возможной диэлектрической проницаемостью, позволяет использовать пластину большей ширины, благодаря чему максимально уменьшается плотность тока в пластине при одном и том же уровне мощности.

На рис. 5–6 приведены потери на суммирование мостов S- и С-диапазонов, соответственно.

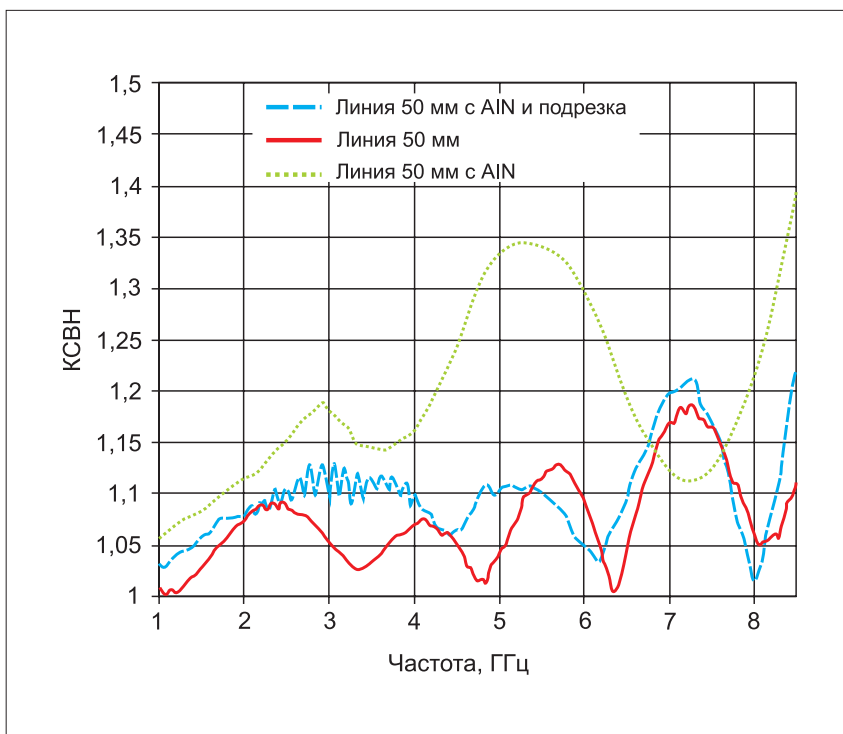
ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Основные параметры разработанных усилителей мощности приведены в таблице.

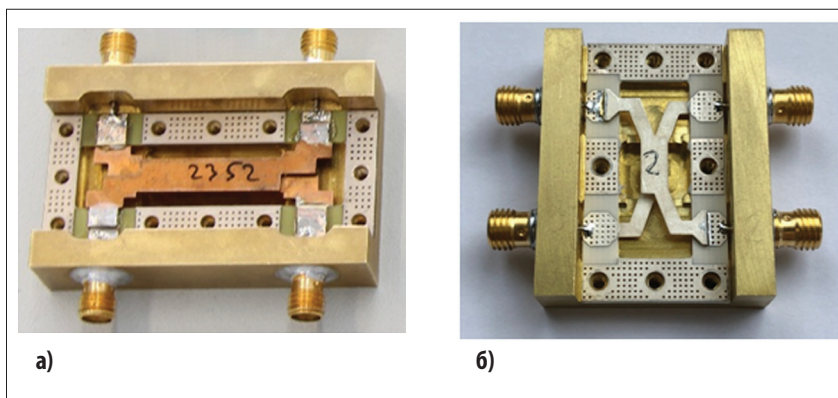
Зависимости выходной мощности от частоты приведены на рис. 7.

ВЫВОД

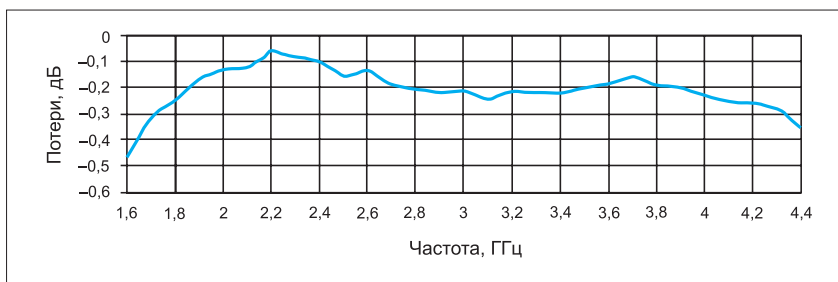
В S- и С-диапазонах реализованы усилители мощности непрерывного



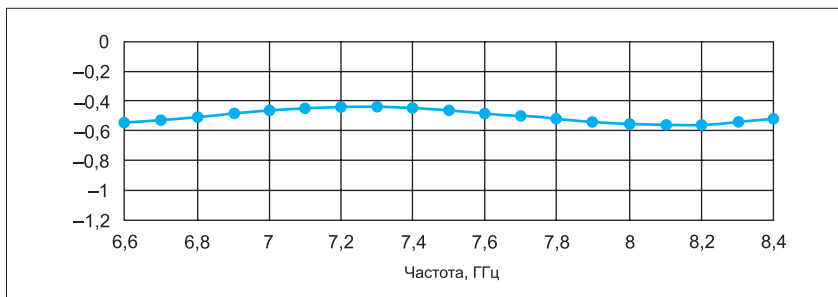
▲ Рис. 3. КСВН макета линии передачи длиной 50 мм.



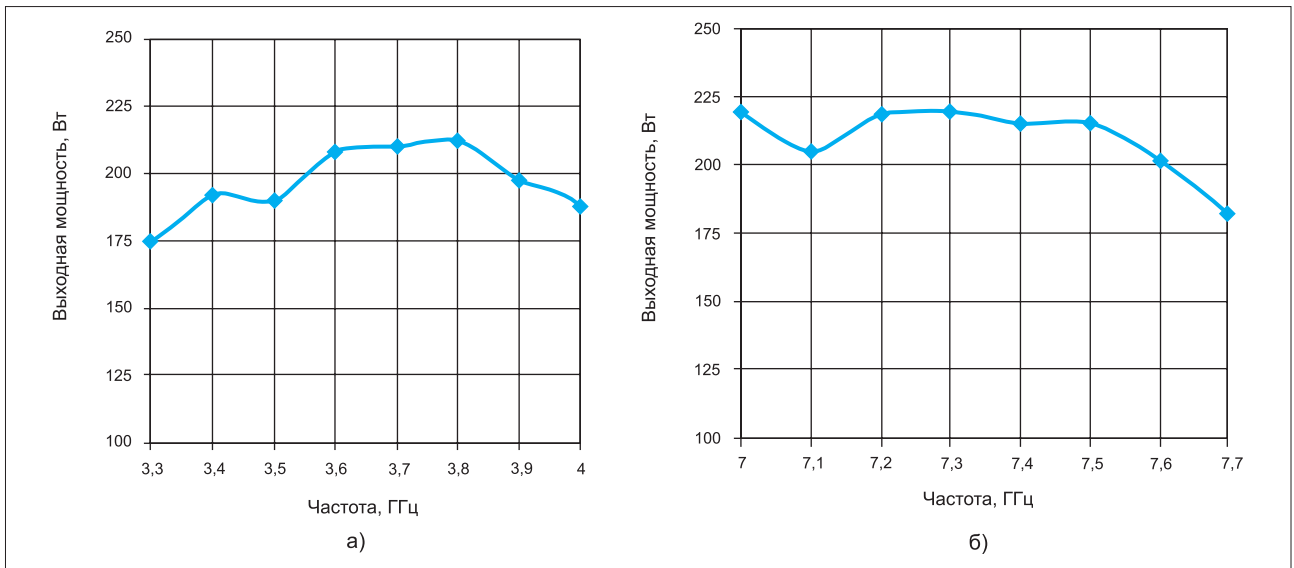
▲ Рис. 4. Фотографии макетов 3-дБ квадратурных мостов с лицевой связью для: а) S- и б) С-диапазонов



▲ Рис. 5. Потери на суммирование мостов S-диапазона



▲ Рис. 6. Потери на суммирование моста С-диапазона



▲ Рис. 7. Зависимости выходной мощности усилителей S- (а) и С-диапазонов (б) при номинальной входной мощности 5 мВт.

режима с выходной мощностью 150–200 Вт с жидкостным охлаждением для работы в условиях лабораторий и цехов. —

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Кищинский, Д. А. Суханов. Широкополосный усилитель мощности S-диапазона с выходной мощностью 300 Вт в непрерывном режиме//Материалы 26-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 2016.
2. I. Schmale. Synthesis of high-power broadside-coupled thick striplines including narrow lateral

Таблица. Основные параметры разработанных усилителей мощности

	УМ-135 (S-диапазон)	УМ-160 (С-диапазон)
Рабочий диапазон частот, ГГц	3,4–3,9	7,3–7,6
Выходная непрерывная мощность, Вт, не менее	180	200
Неравномерность коэффициента усиления, дБ, не более	1,5	
КСВН входа/выхода, ед., не более	1,7	
Потребляемая мощность, Вт, не более	800	1300

shielding//Proceedings of the 36th European Microwave Conference. 2006.

3. А. А. Кищинский, В. В. Радченко, А. В. Радченко. Широкополосные квадратные делители/сум-

маторы мощности для применения в усилителях СВЧ-мощности//Материалы 19-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 2013. Т. 1.