

УСИЛИТЕЛЬ СВЧ-МОЩНОСТИ ДИАПАЗОНА 5–18 ГГц С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ БОЛЕЕ 10 Вт

В статье описана конструкция и приведены характеристики сверхширокополосного твердотельного усилителя СВЧ-мощности на основе современных монокристаллических интегральных схем, обеспечивающего в рабочем диапазоне частот 5–18 ГГц выходную мощность более 12–16 Вт и КПД 17–24%.

Необходимость уменьшения массогабаритных характеристик, снижения потребляемой мощности широкополосных радиопередающих устройств вынуждает разработчиков модулей СВЧ обращаться к применению в выходных каскадах усилителей мощности современных интегральных компонентов на основе технологии нитрида галлия [1]. Такой вариант значительно упрощает конструкцию усилителя по сравнению с решениями на основе дискретных GaAs-транзисторов [2] при одновременном улучшении основных параметров усилителя.

КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

На рис. 1 показана структурная схема разработанного усилителя мощности.

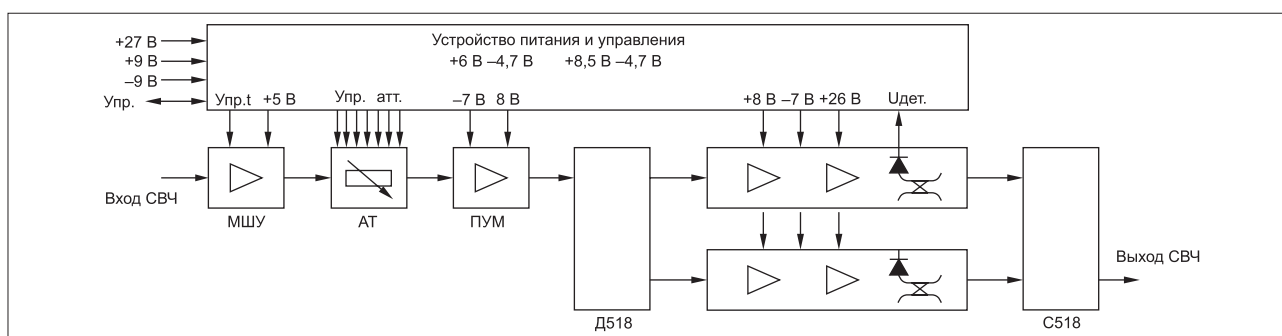
Она содержит:

- входной малошумящий усилительный каскад (МШУ);
- цифровой пятиразрядный аттенюатор (АТ);
- цепь управления уровнем усиления входного МШУ для плавной компенсации температурного дрейфа коэффициента усиления в диапазоне температур $-40...+75\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- предварительный усилитель мощности, корректор АЧХ и ФЧХ усилительного тракта (ПУМ);
- делитель и сумматор (Д518 и С518);
- два интегральных усилительных модуля, выполненных в металло-керамическом корпусе, которые содержат входной балансный монокристаллический GaAs-усилительный каскад собственной разработки, коммер-

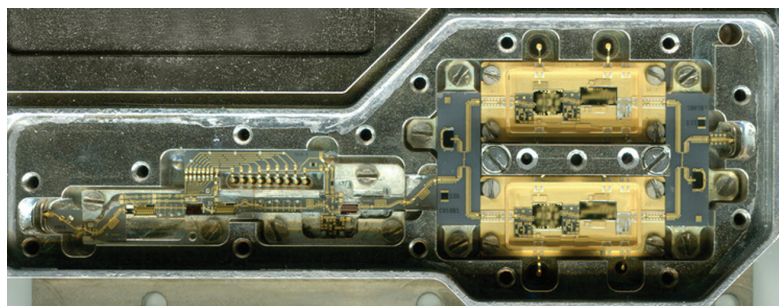
чески доступный GaN-монокристаллический усилитель с распределенным усилением (УРУ) с выходной мощностью 7–10 Вт и направленный детектор выходной мощности;

- стабилизаторы питания, быстродействующий модулятор питания; буферные ТТЛ-логические элементы управления цифровым аттенюатором, схему управления аттенюатором термокомпенсации, датчик температуры, устройство защиты (устройство питания и управления).

На рис. 2 представлена фотография внутренней конструкции разработанного усилителя, а на рис. 3 — его внешний вид. Корпус усилителя герметичный, элементы устройства питания и управления размещены с нижней стороны корпуса. Габаритные размеры



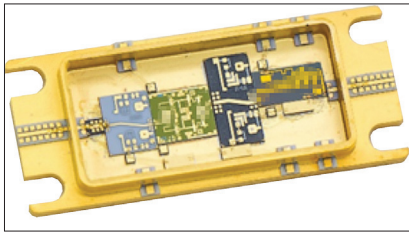
▲ Рис. 1. Структурная схема усилителя



▲ Рис. 2. Конструкция усилителя



▲ Рис. 3. Внешний вид усилителя УМ17105



▲ **Рис. 4.** Конструкция интегрального усилительного модуля

усилителя составляют 64,2×117×20 мм, масса 300 г.

На рис. 4 дана фотография выходного интегрального усилительного модуля M04C, который выполнен в герметичном металлокерамическом микрокорпусе и разработан совместно с компанией Kyocera [3]. Габаритные размеры корпуса составляют 10,8×26×2,6 мм, а масса менее 5 г.

Модуль обеспечивает в полосе рабочих частот 5–18 ГГц выходную мощность более 7 Вт при КПД 21–27%, малосигнальное усиление 18–20 дБ и КСВН входа и выхода не более 1,8. Были проведены испытания трех вариантов построения данного модуля:

1. GaAs-микросхема MC120 собственной разработки и выходной УРУ GaN (как показано на рис. 4).
2. 2-Вт GaAs-микросхема УБВ и выходной УРУ GaN.
3. 2-Вт GaN-микросхема УБВ и выходной УРУ GaN.

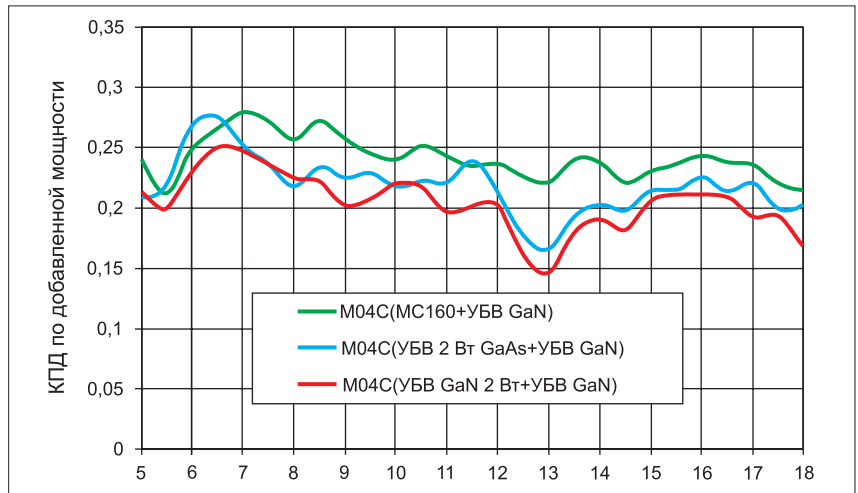
Исследования показали преимущество первого варианта построения. На рис. 5 изображен график КПД по добавленной мощности всех трех вариантов, из которого видно, что вариант с микросхемой MC120 не имеет провала по КПД в районе 13 ГГц, а также в среднем КПД выше на 2–3%. Модуль M04 C может применяться отдельно как самостоятельное изделие, например, в многоканальных усилительных трактах.

Для суммирования мощностей двух интегральных модулей разработан квадратурный сумматор с тремя областями связи (общий вид показан на рис. 2). Расчетные параметры сумматора приведены на рис. 6.

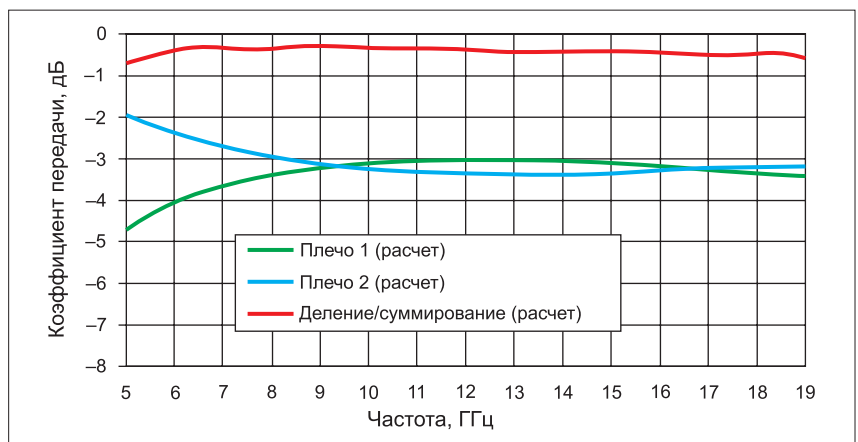
Сильную связь обеспечивает центральная секция в виде моста Ланге с зазором между проводниками 13 мкм, а слабую связь создают широкие подводящие линии. Такая конструкция позволяет эффективно использовать его длину и увеличить широкополосность за счет применения областей с разным коэффициентом связи.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ

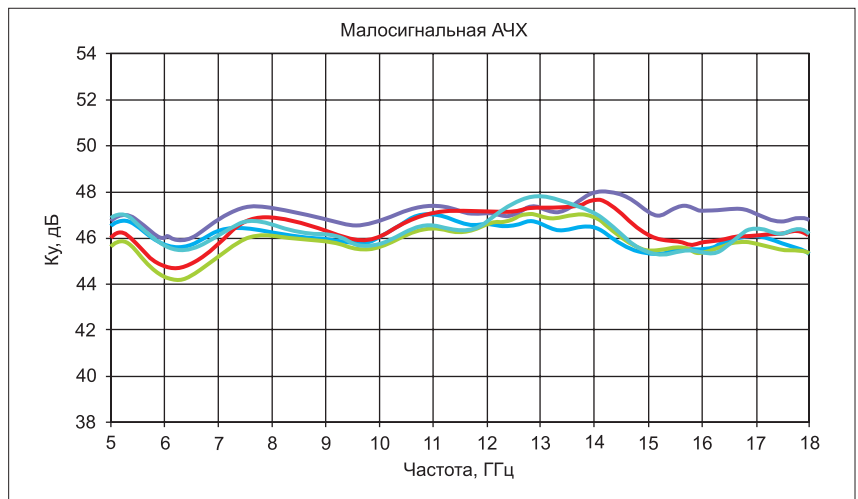
На рис. 7–9 приведены типовые характеристики пяти образцов разработанного усилителя мощности. Коэффициент



▲ **Рис. 5.** КПД по добавленной мощности трех вариантов исполнения модуля M03C



▲ **Рис. 6.** Расчетные параметры квадратурного сумматора, примененные в разработанном усилителе



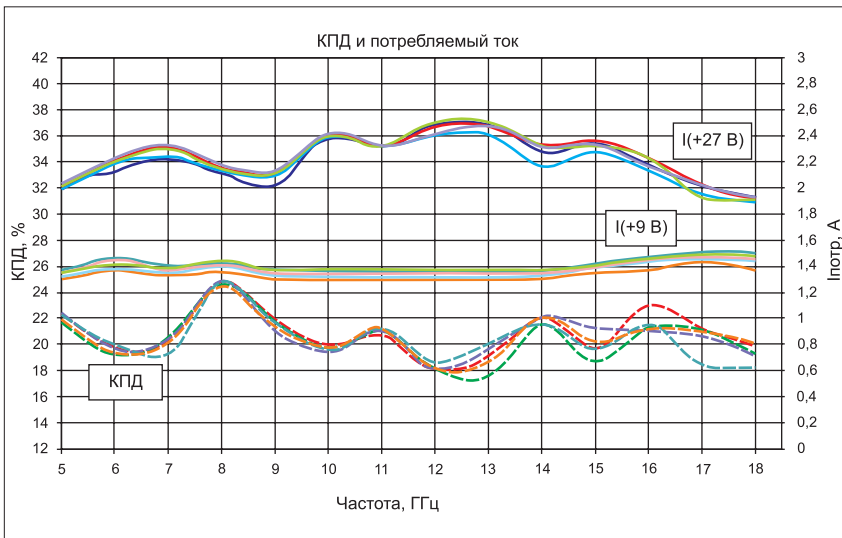
▲ **Рис. 7.** Малосигнальный коэффициент усиления серии усилителей (НКУ)

передачи в малосигнальном режиме составляет 44–48 дБ при неравномерности около 3 дБ (рис. 7), КСВН входа и выхода усилителя не более 2,5.

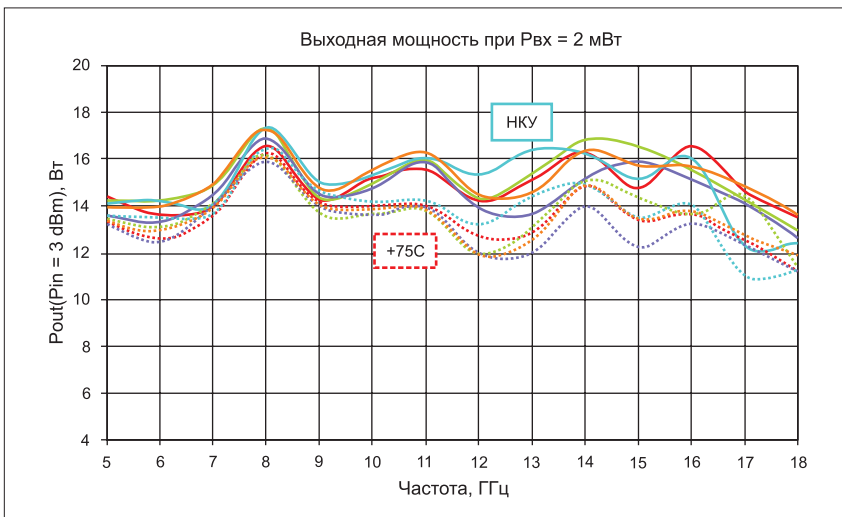
Усилитель содержит цепь управления уровнем усиления для плавной компенсации температурного дрейфа коэффициента усиления в диапазоне температур –40...+75 °С, которая обеспечивает дрейф амплитудно-частотной характеристики не более чем на 2 дБ.

Токи потребления по цепям питания и КПД усилителя представлены на рис. 8. В нормальных климатических условиях (НКУ) КПД составляет 17–24%, а при росте температуры до +75 °С не падает ниже 15%.

Усилитель обеспечивает выходную мощность 12–16 Вт (рис. 9) при входной мощности 2 мВт (компрессия усиления около 7 дБ) при эффективном охлаждении корпуса. В диапазоне тем-



▲ **Рис. 8.** Токи потребления по цепям питания в режиме насыщения (НКУ)



▲ **Рис. 9.** Типовая номинальная выходная мощность (при $P_{вх} = 2$ мВт) в НКУ (сплошные линии) и при температуре +75 °С на корпусе

ператур $-40...+75$ °С усилитель поддерживает выходную мощность более 10 Вт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе приведены результаты разработки усилителя с выходной мощностью не менее 10 Вт, действующего в диапазоне частот 5–18 ГГц, который может применяться в качестве оконечного усилителя мощности в АФАР непрерывного режима. По удельным параметрам (масса на единицу выходной мощности, аппаратный КПД [1], стоимость ватта выходной мощности) он имеет на 30–45% лучшие показатели, чем разработанный ранее GaAs-усилитель сравнимой полосы частот [2]. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Кищинский А. А. *Сверхширокополосные твердотельные усилители мощности СВЧ-диапазона: схемотехника, конструкции, технологии. Электроника и микроэлектроника СВЧ. Сборник статей VII Всероссийской конференции.* СПб., Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018.
2. Радченко А. В. *Сверхширокополосный транзисторный усилитель диапазона 6–18 ГГц с выходной мощностью 6 Вт. Материалы 21-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 2011.*
3. Маркинов Е. Г., Радченко А. В. *Сверхширокополосные интегральные усилители мощности в корпусах поверхностного монтажа. Материалы 26-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 2016.*