

# СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ S-ДИАПАЗОНА НА GaN HEMT-ТРАНЗИСТОРАХ ФИРМЫ SUMITOMO ELECTRIC

В статье рассматривается практическая реализация СВЧ-усилителя мощности S-диапазона на GaN HEMT-транзисторах фирмы Sumitomo Electric. Приводятся экспериментальные характеристики разработанного усилителя при разных уровнях входных воздействий. Даны рекомендации по применению разработанного усилителя в радарных системах S-диапазона.

В настоящее время широкое применение в радарных системах, работающих в импульсных режимах, находят полевые транзисторы GaN HEMT, обладающие высокими параметрами по уровню выходной мощности, коэффициенту передачи и коэффициенту полезного действия. Одним из мировых лидеров по производству GaN HEMT-транзисторов является японская фирма SUMITOMO.

При разработке СВЧ-усилителя S-диапазона были использованы активные элементы, созданные на основе GaN-технологии фирмы SUMITOMO, —

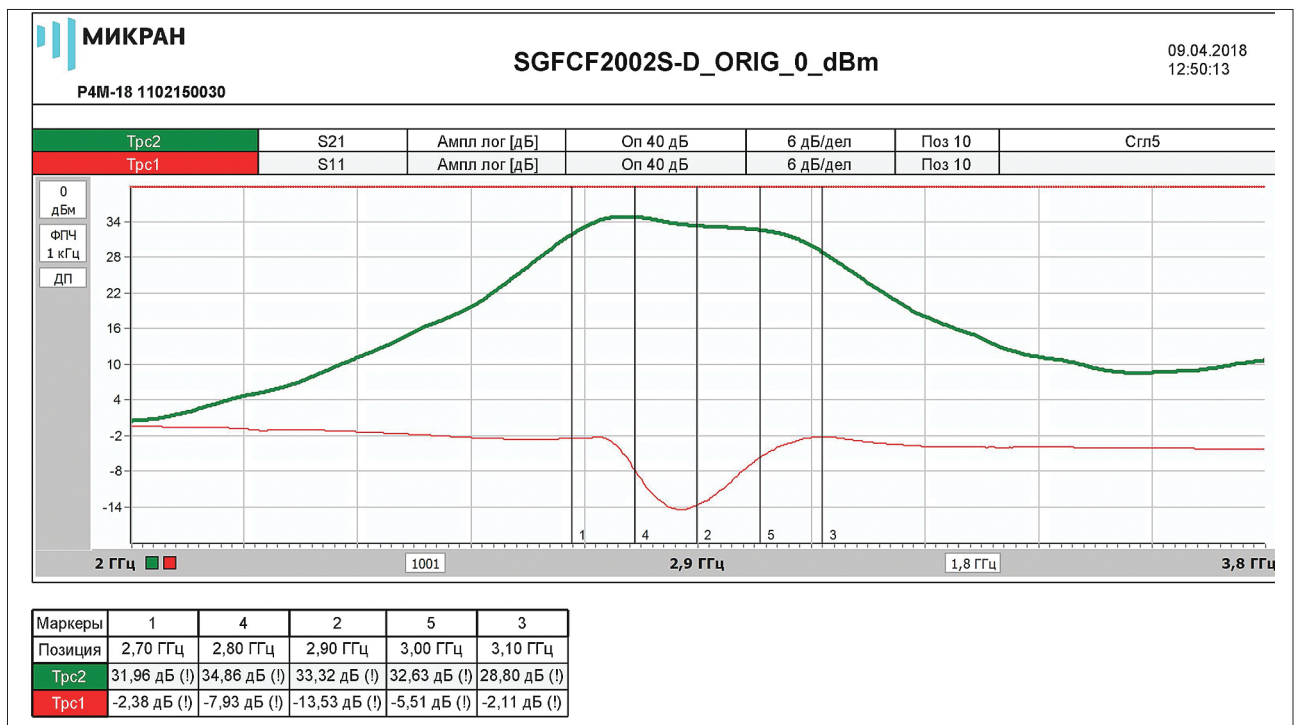
SGFCF2002S-D (предварительный усилитель) и SGN2729–250H-R (выходной усилитель). Микросхема SGFCF2002S-D представляет собой двухкаскадный усилитель в пластиковом корпусе с внешними согласующими цепями для двух напряжений питания по стоку (+28 или +50 В). Входной каскад микросхемы SGFCF2002S-D обеспечивает уровень выходной мощности 2 Вт, а выходной при напряжении питания по стоку +50 В — не менее 20 Вт. За основу построения предварительного усилителя на микросхеме SGFCF2002S-D в частотном диапазоне 2,7–3,1 ГГц была взята

тест-плата производителя [1]. Тест-плата SUMITOMO была разработана на диэлектрической подложке толщиной  $h = 0,5$  мм с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 3,5$ . Был произведен пересчет элементов цепей питания и согласования для диэлектрической подложки Rogers RO4350B толщиной  $h = 0,762$  мм с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 3,66$  (размер платы  $87 \times 75$  мм).

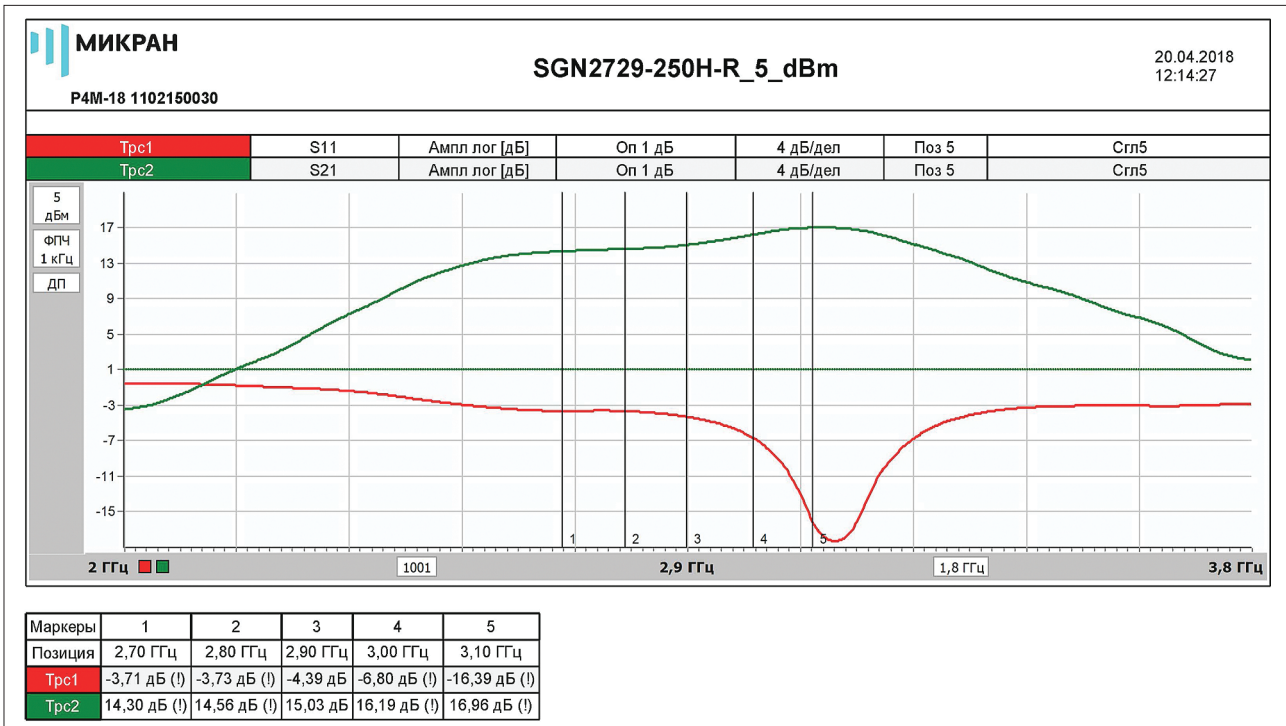
Как отмечалось выше, выходной каскад усилителя строился на транзисторе SGN2729–250H-R [2] с внутренними согласующими цепями для работы в 50-Ом тракте в диапазоне

МОДУЛИ И БЛОКИ

30



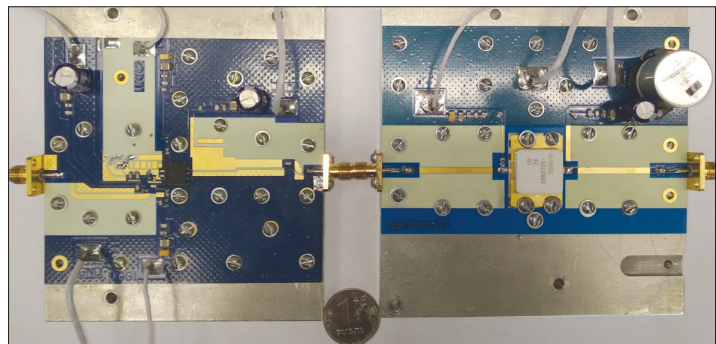
▲ Рис. 1. Экспериментальные частотные зависимости  $|S_{11}|$ ,  $|S_{21}|$  макета предварительного каскада УМ на SGFCF2002S-D



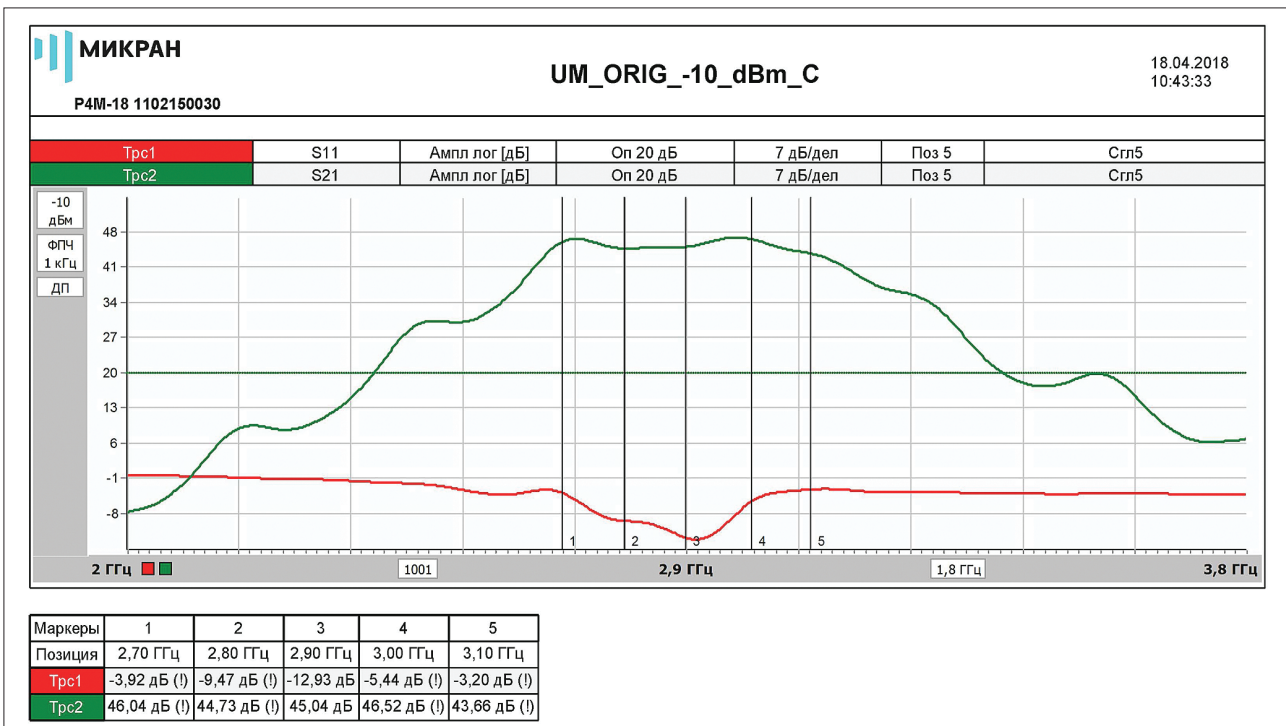
▲ **Рис. 2.** Экспериментальные частотные зависимости  $|S_{11}|$ ,  $|S_{21}|$  макета выходного каскада УМ на SGN2729-250H-R

2,7–2,9 ГГц. В этом диапазоне транзистор SGN2729–250H-R при напряжении питания на стоке  $U_{си} = 50$  В и начальном токе стока  $I_C = 750$  мА должен обеспечивать выходную мощность в импульсном режиме работы не менее 250 Вт при коэффициенте усиления 14 дБ. Печатная плата выходного каскада также была рассчитана на диэлектрическую подложку Rogers RO4350B (размер платы: 70×100 мм).

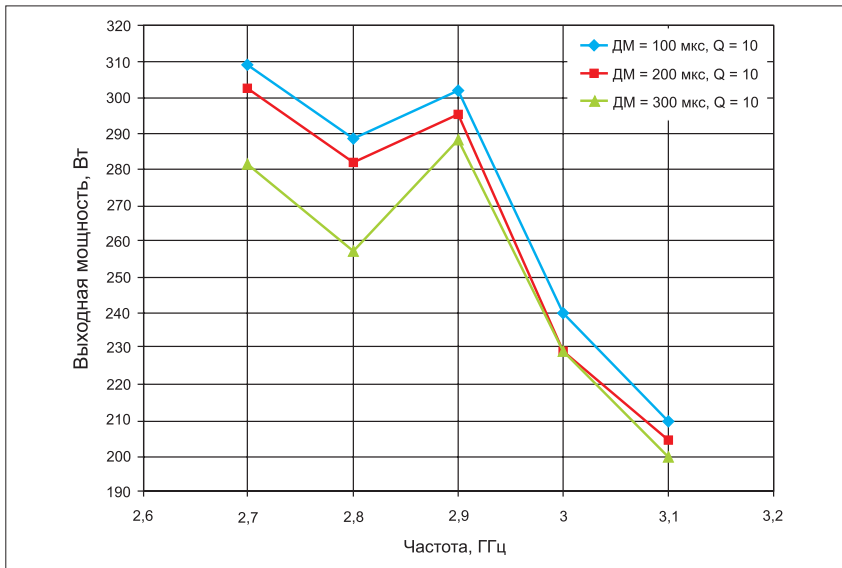
На основе печатных плат были изготовлены и настроены предварительный и выходной каскады усилителя мощности (УМ). На рис. 1 приведены измеренные



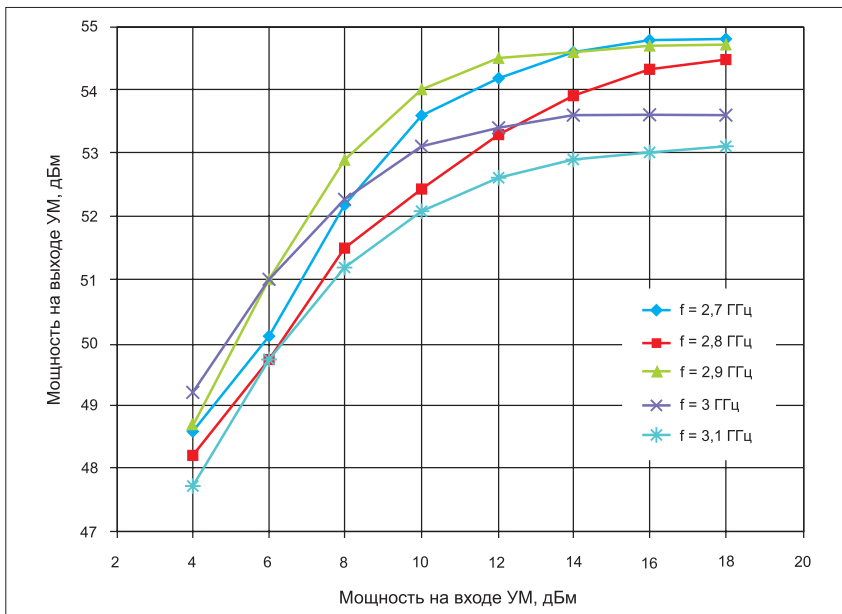
▲ **Рис. 3.** Макет УМ на транзисторах SGFCF2002S-D и SGN2729-250H-R



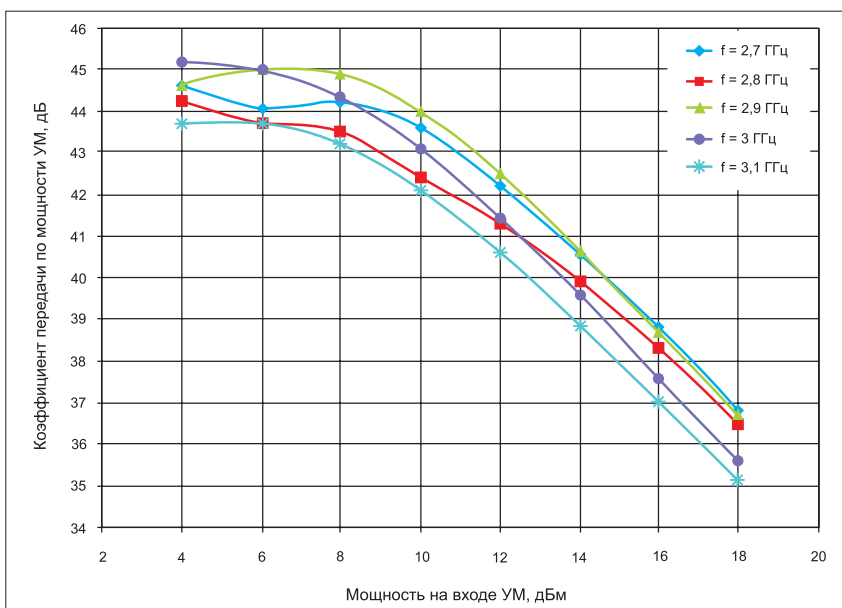
▲ **Рис. 4.** Экспериментальные частотные зависимости  $|S_{11}|$ ,  $|S_{21}|$  макета УМ на транзисторах SGFCF2002S-D и SGN2729-250H-R



▲ Рис. 5. Значения выходной импульсной мощности УМ при разных длительностях импульсов



▲ Рис. 6. Зависимость выходной импульсной мощности УМ от входной



▲ Рис. 7. Зависимость коэффициента передачи усилителя от входной импульсной мощности на разных частотах

S-параметры предварительного каскада УМ, а на рис. 2 — выходного каскада.

Из представленных на рис. 1–2 характеристик видно, что коэффициент усиления  $|S_{21}|$  для предварительного каскада УМ в диапазоне 2,7–3,1 ГГц составляет не менее 28 дБ, а для выходного — не менее 14 дБ. После настройки отдельных каскадов их соединили между собой экранированным 50-Ом кабелем (макет УМ представлен на рис. 3).

Рабочее напряжение питания, смещение и величина потребления по постоянному току в режиме покоя УМ составляли:

- $U_{СП}$ : 50 В;
- $U_{зп1}$ : -1,5 В;
- $U_{зп2}$ : 1,3 В;
- $U_{зп3}$ : -2,8 В;
- $I_C$ : 0,85 А.

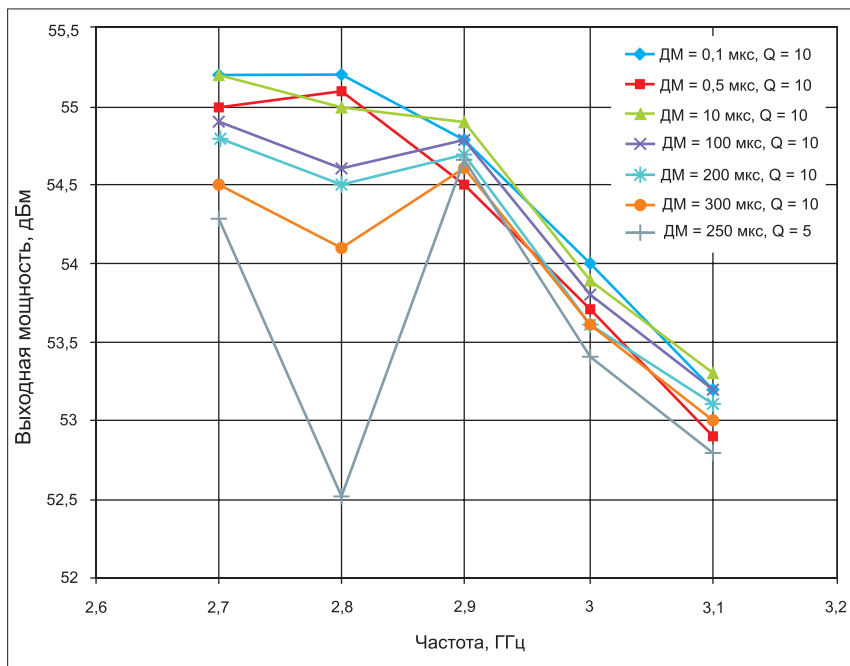
На рис. 4 приведены характеристики УМ, измеренные в режиме малого сигнала.

Из представленных на рис. 4 частотных характеристик следует, что суммарный коэффициент усиления  $|S_{21}|$  УМ в диапазоне 2,7–3,1 ГГц находится в пределах 44–46 дБ. Измерение выходной мощности проводилось при воздействии импульсных сигналов различной длительности. На рис. 5 приведены значения выходных импульсных мощностей (в Вт) на рабочих частотах при длительностях импульсов (ДИ) 100, 200 и 300 мкс и скважности  $Q = 10$  с входной мощностью 17 дБм (50 мВт).

Из представленных на рис. 5 зависимостей видно, что в диапазоне 2,7–2,9 ГГц уровень выходной мощности УМ при всех длительностях радиоимпульсов превышает гарантированный для SGN2729–250H-R в 250 Вт. При этом наименьшее значение выходной мощности наблюдается на частоте 2,8 ГГц (255 Вт при ДИ = 300 мкс). На более высоких частотах (3 и 3,1 ГГц) уровень мощности снижается до 230 и 200 Вт соответственно.

Наряду с отмеченными характеристиками были измерены зависимость выходной мощности и коэффициента передачи от входной при ДИ = 200 мкс,  $Q = 10$  на разных частотах рабочего диапазона, которые представлены на рис. 6 и рис. 7.

Из графиков, представленных на рис. 6 и 7, следует, что выходная мощность насыщения на всех частотах достигается при  $P_{вх} = 17–18$  дБм; при этом коэффициент передачи уменьшается на 5–6 дБ от режима малого сигнала. Также была измерена выходная мощность при уровне входной мощности  $P_{вх} = 17$  дБм, на котором достигается максимальная мощность, для радиоимпульсов разной длительности (0,1–300 мкс) со скважностью  $Q = 10$ . Кроме того, был исследован режим при пониженной скважности  $Q = 5$  при



▲ **Рис. 8.** Выходная импульсная мощность усилителя в рабочей полосе при разных параметрах импульсов ( $P_{вх} = 17$  дБм)

ДИ = 250 мкс. Результаты измерений представлены на рис. 8.

Из приведенных на рис. 8 зависимостей выходной мощности следует, что при скважности  $Q = 10$  для всех длительностей радиоимпульсов в диапазоне 2,7–2,9 ГГц выходная мощность превышает 250 Вт (54 дБм), а на частоте

3,1 ГГц снижается до 200 Вт (53 дБм). При скважности импульсов  $Q = 5$  выходная мощность резко уменьшается до 178 Вт (52,5 дБм) на частоте 2,8 ГГц. Факт снижения мощности можно объяснить повышением температуры кристалла выходного транзистора при уменьшении скважности, что приводит

к изменению оптимального импеданса для получения максимальной выходной мощности на данной частоте.

По результатам проведенных измерений УМ можно сделать следующие выводы.

1. Разработанный СВЧ-усилитель мощности на основе GaN-транзисторов SGFCF2002S-D и SGN2729–250H-R в диапазоне 2,7–2,9 ГГц соответствует заявленным производителем параметрам. Уровень выходной мощности при импульсных сигналах со скважностью 10 превышает 250 Вт.
2. Использование радиоимпульсов со скважностью менее 10 не рекомендуется, т.к. наблюдается резкое снижение выходной мощности на частоте 2,8 ГГц. Не рекомендуется также использовать импульсы длительностью более 300 мкс. Наибольшие величины выходной мощности достигаются при работе с короткими импульсами 0,1–10 мкс.
3. Разработанный усилитель можно использовать в более широком частотном диапазоне 2,7–3,1 ГГц при уровне выходной мощности не выше 200 Вт. ▬

#### ЛИТЕРАТУРА

1. SGFCF2002S-D. Plastic 2-stage GaN-HEMT//[www.sedi.co.jp/file.jsp?pdf/SGFCF2002S-D\\_ED1-1.pdf](http://www.sedi.co.jp/file.jsp?pdf/SGFCF2002S-D_ED1-1.pdf).
2. SGN2729–250H-R. 250W GaN HEMT for S-band Radar//[www.sedi.co.jp/pdf/SGN2729-250H-R\\_ED2-0.pdf](http://www.sedi.co.jp/pdf/SGN2729-250H-R_ED2-0.pdf).