

УДК 621.375.7 : 523.164

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ ДЛЯ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б. З. Каневский, В. В. Корогод, И. А. Струков

Приводятся результаты исследований и характеристики параметрических усилителей на длины волн $\lambda = 18$ см и $\lambda = 1,35$ см, предназначенных для радиоастрономических исследований.

Сообщаются предварительные результаты исследования системы, состоящей из вырожденного ПУ и удвоителя частоты, и применения ее в схеме радиометра.

Современные варакторные диоды на GaAs имеют величины критических частот ($m/\omega\tau$) вплоть до 150 ГГц. Это позволяет создавать неохлаждаемые, невырожденные параметрические усилители с эффективной температурой шума $T_{эфф} < 100$ К на частотах ниже 7 ГГц. В диапазоне более высоких частот практическая реализация сверхмалощумящих неохлаждаемых параметрических усилителей (ПУ) ограничена выбором имеющихся высокостабильных твердотельных высокочастотных источников мощности накачки.

Наблюдающийся в настоящее время прогресс в технологии полупроводниковых генераторов позволяет рассчитывать на значительное улучшение характеристик приемных устройств и, в частности, приемных устройств радиоастрономических комплексов. Ниже приводятся характеристики ПУ дециметрового и короткого сантиметрового диапазонов длин волн, предназначенных для радиоастрономических исследований.

В диапазоне длин волн $\lambda = 18$ см были разработаны ПУ как для спектральных исследований, так и для проведения измерений широкополосного сигнала. В основу конструкции ПУ была положена классическая схема с использованием одного диода [1]. Диод из GaAs имел следующие параметры: $C_0 = 0,5$ пФ, $R_s = 1,5 \div 2$ Ом, $L_{bb} = 0,5$ нГн, $C_p = 0,2$ пФ. При использовании такого диода в усилителе был реализован холостой контур на частоту $f_2 = 18,5$ ГГц. Имейшиеся в нашем распоряжении циркуляторы обладали потерями порядка 0,2 дБ на плечо, поэтому повышение частоты накачки не привело бы к существенному снижению шумовой температуры приемника.

Для расширения полосы пропускания усилителя в сигнальном контуре использовался полуволновый шлейф.

Для спектральных исследований на длине волны $\lambda = 1,35$ см был разработан параметрический усилитель, конструкция которого показана на рис. 1. Для режекции холостой частоты применен способ, предложенный в работе [2] и использующий заданное распределение поля в радиальном резонаторе. В усилителе работают бескорпусные диоды из GaAs с барьером Шоттки. Применение бескорпусных диодов вызвано следующими соображениями. Паразитные параметры существующих корпусов диодов (емкость корпуса и индуктивность ввода) приводят на частотах миллиметрового диапазона к ограничению полосовых характеристик ПУ. Разрабатываемую конструкцию ПУ предполагается

использовать для построения усилителей в миллиметровом диапазоне волн, и создание ПУ на $\lambda = 1,35$ см может рассматриваться как «низкочастотное» моделирование таких усилителей.

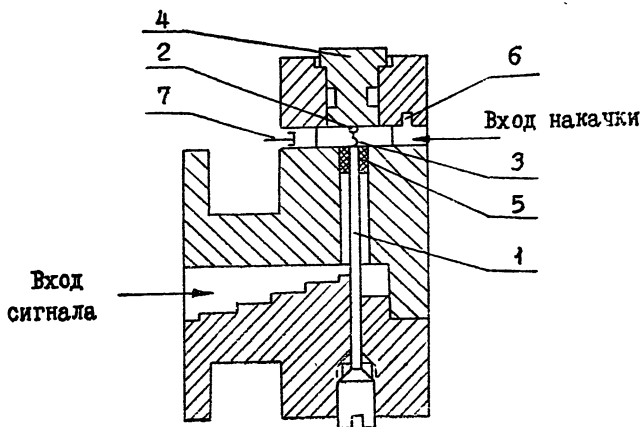


Рис. 1. Параметрический усилитель на $\lambda = 1,35$ см:

1—входной коаксиал, 2—варактор, 3—контактная игла, 4—разъем для подачи напряжения смещения, 5—трансформатор импедансов, 6—трансформатор импедансов в цепи накачки, 7—подстройка цепи накачки.

Динамическая добротность диодов, определенная из холодных измерений ПУ, достигала $Q_d = 6,5$. В работающем усилителе реализуется меньшая добротность $Q_d = 3,5 \div 5$. Это связано с настройкой усилителя, в частности, с величиной рабочего напряжения смещения $U_{см}$ на диоде. Для полного использования диода требуется $U_{см} \approx -3$ В и несколько превышающая эту величину амплитуда напряжения накачки на диоде. При ограниченной мощности генератора накачки приемлемым является режим работы ПУ с $U_{см} \approx -1$ В, с некоторым недоиспользованием диода, но с значительно меньшим уровнем потребляемой мощности накачки.

С учетом зависимости R_s от частоты вследствие скин-эффекта, оптимальная по шумам холостая частота при $Q_d = 5$ равна приблизительно 60 ГГц. Из-за неизбежных потерь в холостом контуре оптимальная частота оказывается еще меньше. В усилителе холостой контур настраивался на частоту $f_2 = 38$ ГГц.

Одной из основных задач при создании усилителей с миллиметровой накачкой является снижение требуемого уровня мощности генератора накачки. Это связано с использованием маломощных высокочастотных твердотельных полупроводниковых генераторов и умножителей частоты. Для согласования импедансов в тракте накачки был выполнен трансформатор сопротивлений, в результате чего удалось добиться, чтобы требуемая мощность генератора накачки составляла 20—50 мВт.

Для работы в радиометрическом режиме разработан вырожденный ПУ на 1,35 см. Его конструкция аналогична показанной на рис. 1. Радиальный резонатор служит для развязки цепей сигнала и накачки. Кроме того, резонатор с включенным диодом настраивается в резонанс на частоте накачки для снижения мощности накачки. Измерения показали, что развязка составляет примерно 20 дБ. Усилитель работает от генератора накачки с мощностью 20 мВт. Отметим преимущества данной конструкции перед описанной в работе [3]. В разрабатываемой конструкции достигается удовлетворительная развязка цепей накачки

и сигнала без применения такого сложного элемента, как вафельный фильтр нижних частот. Наличие вафельного фильтра в тракте накачки приводит к большим диссипативным потерям, что не позволяет реализовать ПУ с предельно низким уровнем мощности накачки. Чем выше частота накачки, тем сильнее проявляется этот недостаток, так как устранение диссипативных потерь в усилителях миллиметрового диапазона волн представляет большие трудности при оптимизации тракта накачки.

Применение вафельного фильтра приводит также к потерям на частоте сигнала, что вызывает ухудшение коэффициента шума.

С точки зрения настройки и оптимизации рабочих контуров ПУ данная конструкция имеет преимущества перед [3], поскольку допускает практически независимую настройку цепей сигнала и накачки.

Создание ПУ с низким уровнем потребляемой мощности открывает новые возможности построения маломощных приемных систем СВЧ. На рис. 2 показана высокочастотная часть схемы радиометра, в котором используется один источник мощности в качестве генератора накачки вырожденного ПУ и гетеродина смесителя. Применение такой схемы позволяет улучшить характеристики радиометра за счет синхронизации частот гетеродина ПУ и смесителя, упростить и повысить надежность системы, благодаря использованию одного, относительно низкочастотного задающего генератора. Особенно целесообразна эта схема в миллиметровом диапазоне длин волн, где трудно создать какие-либо маломощные усилители для последующих за ПУ каскадов в приемниках прямого усиления.

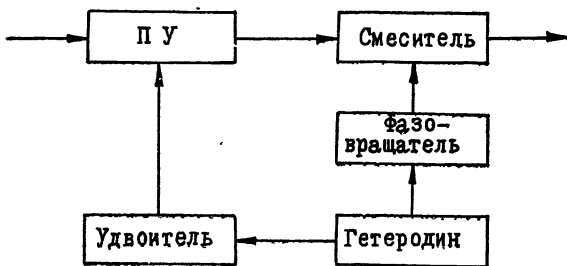


Рис. 2. Блок-схема СВЧ части радиометра.

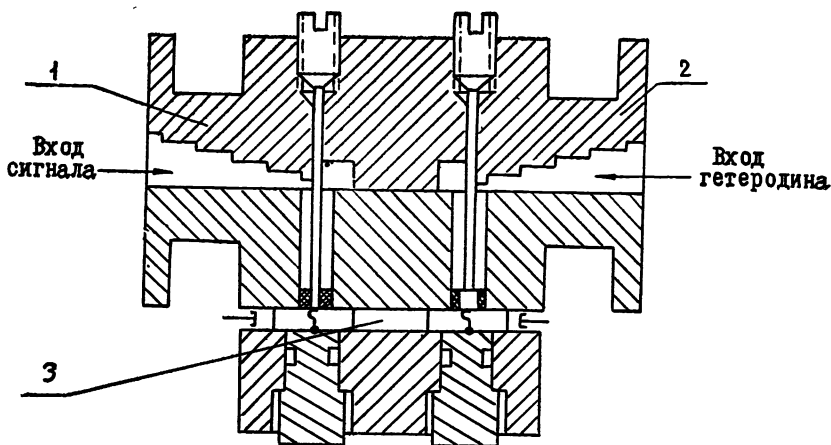


Рис. 3. Параметрический усилитель-умножитель частоты: 1 — параметрический усилитель, 2 — умножитель, 3 — тракт накачки ПУ — выход умножителя.

Небольшая мощность, потребляемая вырожденным ПУ, и достоинства схемы рис. 2 привели к созданию конструкции усилитель + удвоитель частоты, показанной на рис. 3, в которой возможна реализация хорошего согласования в тракте накачки. Использование в удвоителе той же конструкции, что и для ПУ, позволяет путем подбора выходного импеданса удвоителя и непосредственной стыковки ее с ПУ осуществить работу устройства с малым потреблением мощности. Следует подчеркнуть, что в проведенных экспериментах в удвоителе использовались те же диоды, что и в ПУ. КПД умножителя составил 20% и выходная мощность 5 МВт. В результате стыковки вырожденного ПУ и удвоителя было получено усиление $G = 10$ дБ при отношении $R_r/R_s = 5$ (полоса $\Delta f > 1$ ГГц).

В таблице приведены основные характеристики ПУ.

Таблица 1

λ , см	Δf , ГГц	G , дБ	$T_{эфф}$, К	Примечание
18	0,05	15	60	двухконтурный*
	0,2	10	70	двухконтурный с компенсацией с учетом потерь в циркуляторе
1,35	0,25	13	250	двухконтурный
	1,8	13	< 100	вырожденный ПУ с компенсацией

ЛИТЕРАТУРА

1. C. S. Aitchison, R. Davis, P. J. Gibson, IEEE Trans., У. МТТ-15, № 1, 22 (1967).
2. Y. Kinoshita, M. Maeda, IEEE Trans., У. МТТ-18, № 12 (1970).
3. А. С. Берлин, Ю. А. Милицкий, И. А. Струков и др., Радиотехника и электроника, 18, № 2, 423 (1973).

Институт космических исследований
АН СССР

Поступила в редакцию
13 октября 1975 г.

PARAMETRIC AMPLIFIERS FOR RADIO ASTRONOMY INVESTIGATIONS

B. Z. Kanevskii, V. V. Korogod, I. A. Strukov

The results of investigation and the characteristics of parametric amplifiers at the wavelengths $\lambda = 18$ cm and $\lambda = 1.35$ cm designed for radio astronomy investigations are presented.

Preliminary results of investigation of the system consisting of degenerated IA and frequency doubler and its use in the radiometer circuit are reported.