

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 535.214 : 621.3.029.65

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ РАДИОМЕТР 8-МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН С ШИРОКОПОЛОСНЫМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ УСИЛИТЕЛЕМ

Ю. А. Милицкий, И. А. Струков, В. С. Эткин

Для сигналов со сплошным спектром флуктуационный порог чувствительности радиометра ΔT_p пропорционален входной эффективной температуре шума $T_{ш,р}$ и обратно пропорционален корню квадратному из полосы принимаемых частот Δf и постоянной времени интегрирования выходного фильтра τ . Он определяется широко известной формулой [1] $\Delta T_p = \alpha T_{ш,р} / \sqrt{\Delta f \tau}$ (α — коэффициент, зависящий от типа и схемных особенностей радиометра и равный обычно 1—3).

В работе [2] сообщалось об использовании в радиометре параметрического усилителя (ПУ) 8-миллиметрового диапазона волн. Однако ввиду довольно узкой полосы (~ 150 — 190 МГц) и сравнительно высокой шумовой температуры (~ 540 К) ПУ, а также нерационального построения схемы радиометра, достигнутый флуктуационный порог чувствительности радиометра составил 0,5—0,7 К.

Входная шумовая температура радиометра $T_{ш,р}$ определяется, в основном, шумовыми свойствами и коэффициентом передачи его входного устройства. Самыми малозумящими входными устройствами являются мазер бегущей волны и охлаждаемый до гелиевых температур ПУ [2]. Наибольшей чувствительностью в рассматриваемом диапазоне волн обладает радиометр с использованием мазера в качестве первого каскада усиления. Чувствительность такого типа радиометра для сигналов со сплошным спектром достигает 0,08—0,1 К при $\tau = 1$ с. В этом радиометре $T_{ш,р} = 150 \div 210$ К (без учета шумов антенны) [2].

Следует заметить, что использование мазера в составе радиометра требует применения криогенной техники. Применение же криогенной техники значительно увеличивает стоимость аппаратуры, ее вес, габариты, потребление энергии, создает определенные неудобства в работе, а в некоторых случаях и исключает возможность использования такого радиометра.

Неохлаждаемый ПУ на $\lambda = 8$ мм имеет эффективную температуру шума на входе ~ 100 К и полосу пропускания, достигающую 3 ГГц [4]. Применение такого усилителя в радиометре позволяет получить шумовую температуру приемной системы того же порядка, что и системы с мазером, а за счет значительно более широкой полосы пропускания повысить чувствительность радиометра (по сплошному спектру). Полоса пропускания радиометра с ПУ ограничивается лишь полосой примененных ферритовых циркуляторов усилителя и полосой модулятора.

Блок-схема радиометра 8-миллиметрового диапазона волн с ПУ представлена на рис. 1. Он выполнен по одноканальной модуляционной супергетеродинной схеме. В качестве входного каскада используется малозумящий широкополосный вырожденный ПУ, описанный в [4]. За ним следует широкополосный балансный смеситель на бескорпусных диодах с барьером Шоттки.

Для обеспечения работы с диаграммной модуляцией радиометр имеет два входа. На входах радиометра стоят идентичные направленные ответвители, предназначенные для подачи калибровочного сигнала и введения дополнительного шумового сигнала с целью обеспечения баланса температур антенны и эквивалента.

В радиометре используется ферритовый модулятор. Модуляция сигнала по форме близка к прямоугольной. В рабочей полосе частот модулятора $f_0 \pm 550$ МГц прямые потери составляют $\sim 0,4$ дБ на плечо, а величина развязки лежит в пределах ~ 13 — 25 дБ. Частота модуляции примерно равна 1 кГц.

Блок циркуляторов ПУ имеет прямые потери по $\sim 0,4$ дБ на два плеча на входе и выходе ПУ. Рабочий диапазон частот (по уровню развязки 40 дБ) равен $f_0 \pm 550$ МГц.

Для устранения паразитного сигнала, образующегося путем взаимодействия просачивающейся мощности накачки, промодулированной с частотой модуляции, со второй гармоникой гетеродина, макет СВЧ блока радиометра разделен электрическими

экранами на отсеки, установлен заградительный фильтр на частоту накачки на входе смесителя (с потерями $\sim 0,4$ дБ), поднята нижняя граница полосы пропускания УПЧ до 150 МГц. Наиболее рациональным способом решения данной задачи является по-видимому, создание синхронизированных источников накачки и гетеродина.

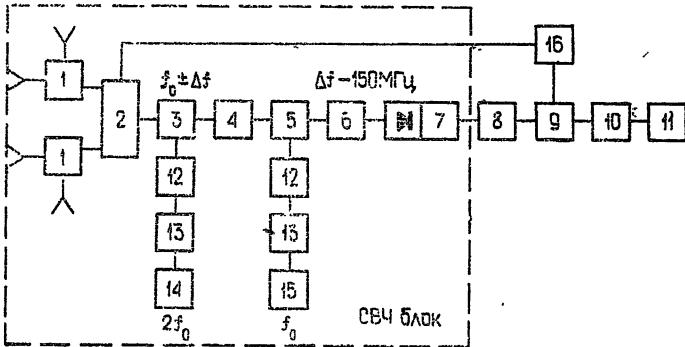


Рис. 1. Упрощенная блок-схема радиометра:

1—направленный ответвитель, 2—модулятор, 3—параметрический усилитель, 4—фильтр нижних частот, 5—смеситель, 6—усилитель промежуточной частоты; 7—предварительный усилитель низкой частоты, 8—усилитель низкой частоты, 9—синхронный детектор, 10—интегратор, 11—самоиндес, 12—аттенюатор, 13—вентиль, 14—источник накачки, 15—источник гетеродина, 16—генератор опорного напряжения.

Потребляемая мощность накачки на фланце ПУ составляет ~ 50 мВт, мощность гетеродина на фланце смесителя ~ 10 мВт.

Все волноводные линии передачи радиометра выполнены с учетом обеспечения минимальной их длины и расположены в одной плоскости (за исключением тракта гетеродина), почти все элементы и узлы радиометра стыкуются между собой без использования дополнительных отрезков волноводов. Эти обстоятельства упростили монтаж СВЧ блока радиометра, позволили свести к минимуму потери в СВЧ трактах и уменьшить габариты блока. СВЧ блок макета радиометра имеет габариты $110 \times 280 \times 360$ мм³ (без теплозащитного кожуха).

Исследование характеристик радиометра проводилось с ПУ, имеющим шумовую температуру $T_{\text{ПУ}} \approx 100$ К при коэффициенте усиления $G_{\text{ПУ}} \approx 13,2$ дБ и полосе пропускания $\Delta f_{\text{ПУ}} \approx f_0 \pm 550$ МГц. Полоса пропускания УПЧ равна примерно 400 МГц с нижней границей ~ 150 МГц, $F_{\text{УПЧ}} = 4,0 : 4,7$ дБ. Интегральный коэффициент шума смесителя с УПЧ $F = 8,5$ ед., что при приведенных параметрах ПУ обеспечивает на его входе шумовую температуру ~ 230 К.

Оценка входной шумовой температуры радиометра с учетом потерь в модуляторе и направленном ответвителе $L \approx 0,5$ дБ при данной настройке ПУ дает величину $T_{\text{ш.р}} \approx 300$ К. При $\alpha = 2,2$ для данного типа радиометра [1] это приводит к флуктуационному порогу чувствительности $\Delta T_p \approx 0,033$ К при $\tau = 1$ с. Прописи калибровочной ступеньки при $T_a \approx T_b \approx 300$ К и $\tau = 1$ с дают величину $\Delta T_{\text{сист}} \approx 0,07 \div 0,08$ К, т. е. экспериментально измеренный собственный флуктуационный порог чувствительности радиометра по сплошному спектру $\Delta T_p \approx 0,035 \div 0,04$ К.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность В. И. Баулину и Ю. А. Немлихеру за предоставление смесителя для данного радиометра, а также В. Н. Галактионову и Л. И. Малафееву за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Есепкина, Д. В. Корольков, Ю. Н. Парийский, Радиотелескопы и радиометры, изд. Наука, М., 1973.
2. N. E. Feldman, Microwave J., 12, № 7, 59 (1969).
3. Л. Д. Бахрах, М. И. Григорьева и др., Изв. высш. уч. зав — Радиофизика, 12, № 8, 115 (1969).
4. В. В. Корогод, Ю. А. Милицкий и др., Изв. высш. уч. зав — Радиофизика, 16, № 5, 688 (1973).
5. В. А. Ефанов, Е. М. Кейс и др., Радиотехника и электроника, 15, № 3, 627 (1970).