



позволяет использовать МРП в системах пассивной локации, реализующих метод нулевого приема [4].

Для количественной оценки уровня избыточной температуры шума  $T_{ш\text{ изб}}$  в сечении «а—а» приводим аналитические выражения (1), (2), (3), полученные на основании графо-аналитического рассмотрения структурной схемы МРП (рис. 1).

$$T_{ш\text{ изб}} = D \frac{T_{гш} - T_o}{L_{a0} L_{ad} L_{но}}, \quad (1)$$

где  $D$  — коэффициент, учитывающий рассогласование элементов 1, 2, 3, 4 —

$$D = 1 \pm 2(|\Gamma_r| |\Gamma_a| + |\Gamma_r| |S_a|^2 + |\Gamma_{но}| + |\Gamma_r| |S_a|^2 + |S_{но}|^2 + |\Gamma_b| + |\Gamma_a| |S_{но}|^2 + |\Gamma_b| + |\Gamma_{но}| |\Gamma_b|); \quad (2)$$

$\Gamma_r, \Gamma_a, \Gamma_{но}, \Gamma_b$  — коэффициенты отражения генератора шума, *pin*-аттенюатора, направленного ответвителя и вентиля, соответственно;

$S_a, S_{но}$  — коэффициенты передачи *pin*-аттенюатора и направленного ответвителя, соответственно,—

$$S_a = \frac{1}{\sqrt{L_{a0} L_{ad}}}; \quad S_{но} = \frac{1}{\sqrt{L_{но}}}; \quad (3)$$

$L_{a0}, L_{ad}$  — начальное и вводимое ослабления *pin*-аттенюатора;  
 $L_{но}$  — переходное ослабление направленного ответвителя;  
 $T_{гш}$  — эквивалентная температура шума генератора шума;  
 $T_o$  — температура окружающей среды.

В таблице представлены оценки для  $T_{ш\text{ изб}}$  при следующих параметрах элементов:  $T_{гш} = 5000$  К;  $L_{a0} = 1,5$  дБ;  $L_{ad} = 0 \dots 20$  дБ;  $L_{но} = 10$  дБ;  $\Gamma_r = \Gamma_{но} = \Gamma_b = 0,13$ ;  $\Gamma_a = 0,33$ .

$L_{ad}$ , дБ	0	1	10	20
$T_{ш\text{ изб}}^*$ , К	340	270	34	3,4
$\bar{T}_{ш\text{ изб}}^{**}$ , К	346	275	35	3,4

\* Без учета рассогласования.

\*\*Усредненное значение  $T_{ш\text{ изб}}$  с учетом рассогласования.

Фактические значения заданных уровней избыточной температуры шума определяются при калибровке модуля подшумливания. Амплитудную модуляцию входного сигнала и сигнала подшумливания осуществляет *pin*-модулятор 5. Частота модуляции 2 кГц. Модулятор развязан по входу и выходу ферритовыми вентилями 4, 6.

Балансный смеситель осуществляет двухполосный прием и преобразование частоты 92...96 ГГц входного сигнала в промежуточную частоту 10...2000 МГц. Частота гетеродина 94 ГГц, мощность — 12 мВт.

Двухкаскадный усилитель ПЧ, регулирующий *pin*-аттенюатор, квадратичный детектор и усилитель постоянного тока (УПТ) расположены на одной плате 9 и конструктивно выполнены в виде отдельного модуля, технические характеристики элементов которого рас-



Рис. 3. Модуляционный радиометрический приемник

смотрены в работе [5]. Генератор опорного напряжения  $I0$  и синхродетектор  $I1$  описаны в работе [6]. Конструктивно элементы МРП размещены в герметичном корпусе (рис. 3). При изготовлении СВЧ-элементов использована гибридно-интегральная технология. Стабилизированный источник питания выполнен в виде отдельного блока.

Разработанный модуляционный радиометрический приемник может быть использован в измерительных системах различного назначения. Он реализует следующие основные технические характеристики:

- диапазон рабочих частот, ГГц — 92...96;
- флуктуационная чувствительность (при постоянной времени интегрирования 1с),  $K/\sqrt{\text{Гц}}$ :  
 без МШУ — 0,03;  
 с МШУ — 0,01;
- частота модуляции, кГц — 2;
- диапазон избыточной температуры шума, К — 4...340;
- напряжение питания 220 В  $\pm 5\%$  частотой 50 Гц.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Hollinger I. P., Kenney I. E., Troy B. E. A versatile millimeter-wave imaging system // IEEE Trans. on MTT.— 1976.— Vol. MTT-24, N 11.— P. 786—793.
2. Гудкова Н. Л., Ширяев А. М. Использование в народном хозяйстве СВЧ-аппаратуры дистанционного зондирования из космоса // Зарубежная радиоэлектроника.— 1991.— № 4.— С. 86—100.
3. Михайлов Н. Ф., Шукин Г. Г. Зарубежные исследования в области СВЧ-радиометрического зондирования атмосферы // Там же.— 1993.— № 4.— С. 49—66.
4. Филатов А. В. Модифицированный метод нулевого приема в сверхвысокочастотном радиометре // Приборы и техника эксперимента.— 1996.— № 3.— С. 87—92.
5. Бережной В. А., Тузенко А. П., Черний Б. С. и др. Унифицированные модули СВЧ для вторичных преобразователей многоканальных радиометров // См. настоящий номер.— С. 19—20.
6. Кужель В. И., Шум А. Н. Синхронный усилитель с оптронной развязкой // Радиоэлектроника.— 1998.— № 4.— С. 79—80.