

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 615 47

**НУЛЕВОЙ МЕДИЦИНСКИЙ РАДИОТЕРМОМЕТР НА ВОЛНУ 30 САНТИМЕТРОВ
(РАДИОМЕТР С АВТОМАТИЧЕСКИ РЕГУЛИРУЕМЫМ ПОДШУМЛИВАНИЕМ
АНТЕННЫ)**

В. С. Троицкий, В. Л. Рахлин

Как известно, при радиотермометрии глубинных органов и тканей биологических объектов возникают ошибки измерения из-за неполного согласования контактной антенны с телом объекта. В работах [1, 2] показано, что для устранения таких ошибок необходимо подогревать антенну, кабель и входные элементы приемника до температуры, близкой к средней температуре тела, обеспечивая тем самым приближенное тепловое равновесие объекта и входных цепей радиометра. При точном термодинамическом равновесии ошибки измерения из-за неполного согласования антенны с телом полностью исключаются. При отклонении температуры измеряемого объекта от средней равновесие становится неточным и возможны ошибки порядка $\Delta T = (T_x - T_{cp})\Gamma_x^2$, где Γ_x^2 — коэффициент отражения контактной антенны по мощности, T_x — измеряемая температура. Обычные отклонения температуры тела человека от средней составляют $T_x - T_{cp} = \pm 5^\circ$, тогда при $\Gamma_x^2 = 0,1$ на краях имеет место ошибка $\approx 0,5^\circ$. Эффект устранения ошибок возможен, когда вместо подогрева входных цепей радиометра в антенну подается дополнительный сигнал от специального шумового генератора — либо через направленный ответвитель, либо через циркулятор [3-5]. В этом случае возможно осуществление нулевого радиометра, т. е. точная подстройка генератора, подшумливающего антенну под величину принимаемого сигнала. Тогда ошибка измерения за счет неполного согласования контактной антенны с телом исключается.

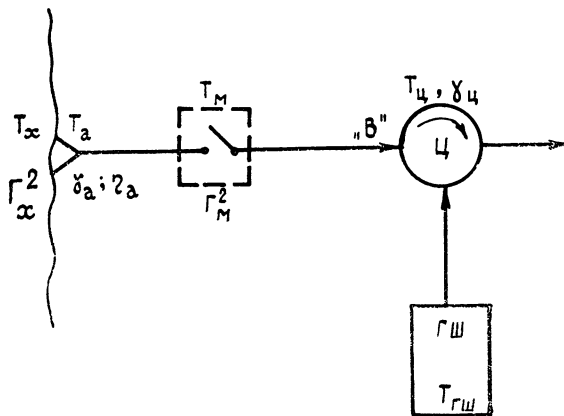


Рис. 1.

В НИРФИ разработан балансный медицинский радиотермометр на волну 30 сантиметров, схема входа которого показана на рис. 1. Между антенной и циркулятором включен модулятор на PIN-диодах, работающий по принципу отражения сигнала [6]. Рассмотрим, следуя методу [2, 5], работу такого радиотермометра. Введем еще обозначения: T_a — температура антенны, $\eta_a = 1 - \gamma_a$ — коэффициент потерь антенны, где η_a — КПД антенны, T_M — температура модулятора, Γ_M^2 — коэффициент отражения по мощности сигнала от запертого модулятора, $T_ц$ — температура циркулятора, $\gamma_ц$ — коэффициент потерь в циркуляторе, $T_{ГШ}$ — температура сигнала шумового генератора. Когда модулятор открыт, сигнал T_x проходит и в точке «В» будет

$$T_B^{(1)} = T_x(1 - \eta_a)(1 - \Gamma_x^2) + T_a\eta_a(1 - \Gamma_x^2) + T_ц\gamma_ц\Gamma_x^2 + T_{ГШ}(1 - \gamma_ц)\Gamma_x^2. \quad (1)$$

Когда модулятор закрыт, сигнал T_x не проходит, имеет место отражение внутренних шумов и $T_{ГШ}$ и в точке «В» будет

$$T_B^{(2)} = T_{ГШ} (1 - \gamma_{ц}) \Gamma_M^2 + T_{ц} \gamma_{ц} \Gamma_M^2 + T_M (1 - \Gamma_M^2) \quad (2)$$

Выход модуляционного радиометра пропорционален разности $T_B^{(1)} - T_B^{(2)}$, это напряжение можно использовать для управления мощностью генератора шума. Для баланса достаточно подобрать такое значение $T_{ГШ x}$, чтобы уравнять $T_B^{(1)} = T_B^{(2)}$, т. е.

$$T_x (1 - \gamma_a) (1 - \Gamma_x^2) + T_a \gamma_a (1 - \Gamma_x^2) + T_{ц} \gamma_{ц} \Gamma_x^2 + T_{ГШ x} (1 - \gamma_{ц}) \Gamma_x^2 = T_{ГШ x} (1 - \gamma_{ц}) \Gamma_M^2 + T_{ц} \gamma_{ц} \Gamma_M^2 + T_M (1 - \Gamma_M^2).$$

Отсюда

$$T_x = [T_{ГШ x} (1 - \gamma_{ц}) (\Gamma_M^2 - \Gamma_x^2) - T_a \gamma_a (1 - \Gamma_x^2) + T_{ц} \gamma_{ц} (\Gamma_M^2 - \Gamma_x^2) + T_M (1 - \Gamma_M^2)] [(1 - \gamma_a) (1 - \Gamma_x^2)]^{-1}. \quad (3)$$

Чтобы избавиться от влияния коэффициента отражения Γ_x^2 на результаты измерения, достаточно иметь в модуляторе полное отражение. Действительно, если $\Gamma_M^2 = 1$, то

$$T_x = T_{ГШ x} \frac{1 - \gamma_{ц}}{\gamma_a} + T_{ц} \frac{\gamma_{ц}}{\gamma_a} - T_a \frac{\gamma_a}{\gamma_a}. \quad (4)$$

Проводя калибровку радиотермометра по двум эталонам теплового радиоизлучения, имеющим температуру соответственно $T_{э_1}$ и $T_{э_2}$, получаем

$$T_{э_1} = T_{ГШ_{э_1}} \frac{1 - \gamma_{ц}}{\gamma_a} + T_{ц} \frac{\gamma_{ц}}{\gamma_a} - T_a \frac{\gamma_a}{\gamma_a}; \quad (5)$$

$$T_{э_2} = T_{ГШ_{э_2}} \frac{1 - \gamma_{ц}}{\gamma_a} + T_{ц} \frac{\gamma_{ц}}{\gamma_a} - T_a \frac{\gamma_a}{\gamma_a}. \quad (6)$$

Вычитая (5) из (6) и (5) из (4) и деля одну разность на другую, далее находим

$$T_x = T_{э_1} + (T_{э_2} - T_{э_1}) \frac{T_{ГШ x} - T_{ГШ_{э_1}}}{T_{ГШ_{э_2}} - T_{ГШ_{э_1}}}. \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что, во-первых, результат измерения не зависит от неполного согласования антенны с телом и, во-вторых, для определения температуры T_x нужно знать либо величину $T_{ГШ}$, либо какую-то величину, пропорциональную $T_{ГШ}$.

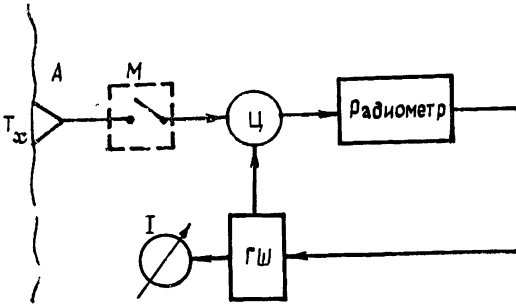


Рис. 2.

В описываемом радиотермометре в качестве генератора шума применяется широкополосный транзисторный усилитель с большими собственными шумами. Его шумовой сигнал строго линейно связан и регулируется выходным напряжением фазового детектора радиометра. С помощью цифрового прибора измеряется эмиттерный ток выходного транзистора, который также строго линейно связан с мощностью шумового сигнала. Тогда из (7) получаем

$$T_x = T_{э_1} + (T_{э_2} - T_{э_1}) \frac{J_{ГШ x} - J_{ГШ_{э_1}}}{J_{ГШ_{э_2}} - J_{ГШ_{э_1}}}. \quad (8)$$

Блок-схема радиометра приведена на рис. 2. Из сказанного очевидно, что генератор шума должен иметь стабильные параметры. Для этого, во-первых, он питается от

жестко стабилизированного источника напряжения, а, во-вторых, вся схема генератора шума термостатирована. Температура термостатирования не имеет значения. Усилительная часть самого радиометра не требует высокой стабильности усиления, так как радиометр обрабатывает почти нулевой сигнал. От усиления радиометра зависит только сигнал ошибки, для которого даже значительные вариации коэффициента усиления значения не имеют.

Работа макета радиометра была проверена следующим образом. Были взяты три жидкостных эталона радиоизлучения с известными температурами U двух, служащих для калибровки, коэффициент отражения по мощности был равен 0,02, а у третьего, «измеряемого», — 0,2. Ошибка измерения не превышала флуктуационного порога чувствительности радиометра, равного $0,05^\circ$, в диапазоне измеряемых температур $30\text{--}40^\circ\text{C}$.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Троицкий В. С. и др. Препринт НИРФИ № 131. — Горький, 1979.
- 2 Троицкий В. С. — Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 24, № 9, с 1054.
- 3 Ludeke K. M., Schiek B., Kohler J — Electr. Lett., 1978, 14, № 6, p. 194.
- 4 Рахлин В. Л. — Изв вузов — Радиофизика, 1984, 27, № 9, с 1204.
- 5 Троицкий В. С. Препринт НИРФИ № 186. — Горький, 1984.
- 6 Рахлин В. Л. и др. — ПТЭ, 1970, № 2, с 151.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
4 ноября 1986 г.

УДК 550 388 2

ОБРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ ВОЛН ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НЕОДНОРОДНОСТЯМИ F -СЛОЯ СУБПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Н. М. Богута, О. И. Максименко, В. П. Урядов, И. П. Цыганаш

В исследованиях мелкомасштабной структуры полярной ионосферы широко применяется радарный метод. При этом с помощью УКВ радаров можно получать сведения только о неоднородностях, расположенных на высотах E -слоя ионосферы [1]. Это связано с геометрией зеркального рассеяния радиоволн на магнитно-ориентированных неоднородностях высокоширотной ионосферы. Использование КВ сигналов позволяет с учетом рефракции радиоволн лоцировать неоднородности, расположенные в F -области ионосферы.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований обратного рассеяния КВ субполярной ионосферой. Эксперимент проводился в январе—марте 1985 г. Для зондирования ионосферы использовался КВ передатчик, установленный в п. Дымер Киевской области ($\varphi_{\text{геом}} = 48^\circ$). Передатчик работал на ряде фиксированных частот в диапазоне 11—20 МГц и мог излучать в двух направлениях: на север и северо-восток ($A=51^\circ$) с помощью двух горизонтальных ромбических антенн типа РГ $\frac{65}{4}$ 1. Переключение антенн осуществлялось дистанционно с пульта управления.

Передатчик работал в импульсном режиме с пиковой мощностью $P_0 = 25$ кВт; длительность импульса $\tau_{\text{и}} = 1$ мс, частота повторения $F_{\text{п}} = 20$ Гц. Прием сигналов осуществлялся на те же ромбические антенны, а также на антенную систему, состоящую из 8 горизонтальных широкополосных диполей, установленных на мачте высотой 93 м. Различные комбинации подключения диполей позволяли формировать четыре диаграммы направленности антенной системы в вертикальной плоскости с угловой шириной порядка 6° , что позволяло измерять углы прихода рассеянных сигналов.

Измерения проводились в основном в вечерние и ночные часы. В большинстве случаев наблюдались сигналы двух типов: тип I — сигналы с задержками $\tau_{31} \approx 7\text{--}10$ мс, тип II — сигналы с задержками $\tau_{32} \approx 13\text{--}20$ мс. Характер сигналов отличался друг от друга. Сигналы типа I принимались только в вечерние и ночные часы,

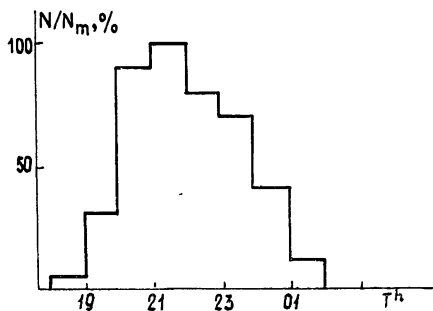


Рис. 1.