

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 537.86.523.164

**РАДИОМЕТР ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ ПЯТИСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА
И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В СВЧ ТЕРМОГРАФИИ**

В. Л. Рахлин, М. М. Зубов, В. М. Плечков

В последние годы рядом исследователей ведется разработка радиофизического метода измерения глубинной температуры тела человека по его собственному тепловому радиоизлучению [1-3]. Первые результаты, полученные при его применении, указывают на диагностическую ценность нового метода при обнаружении злокачественных опухолей, некоторых воспалительных заболеваний, а также на перспективность метода СВЧ термографии для выяснения влияния на организм человека различных лекарственных средств [1, 2]. Необходимым развитием этого метода является получение

глубинного распределения температуры в теле человека. Это обстоятельство особенно важно для определения локализации патологических очагов, неинвазивного измерения температуры нагрева внутренних органов при СВЧ гипертермии.

Глубинное распределение температуры может быть получено при одновременном измерении яркостной температуры тела на нескольких длинах волн, для которых глубина проникновения меняется от долей сантиметра до 5-15 см. Естественно, что при этом возникают повышенные требования к чувствительности и стабильности приемной аппаратуры. Несомненно, что методика измерений должна быть полностью безопасной для пациента. Желательным является исключение из схемы местного гетеродина.

Целью данной работы было создание радиометра прямого усиления на рабочую длину волны $\lambda \approx 5$ см, отвечающего отмеченным выше требованиям и способного выполнять с высокой точностью одно из серии многоволновых измерений радиоизлучения человеческого тела. Описываемый в статье прибор может измерять температуру тела человека в слое ~ 1 мм с точностью до $0,05^\circ$ при односекундной постоянной времени. Конструктивно радиометр выполнен в трех отдельных блоках: блок входа, блок питания параметрического усилителя и блок управления с низкой частотой. Все органы управления радиометром сосредоточены на передней панели блока управления. На рис. 1 показана функциональная схема входного блока. Модулятор, действующий по принципу, описанному в ПТЭ, № 2, 1970, изготовлен из волноводного замыкателя на NIPIN-диоде и коаксиального Y-циркулятора. Это потребовало применения одного коаксиально-волноводного перехода, но позволило иметь в радиометре два входа — один волноводный, второй — коаксиальный. В волноводный вход может быть подан сигнал от внутреннего ГШ через ослабляющую развязку порядка 30 дБ, в котором в качестве генератора используется лавинопролетный диод. Этот ГШ исполь-

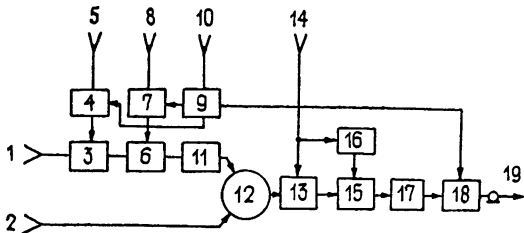


Рис. 1. Функциональная схема входного блока:

1 — волноводный вход сигнала, 2 — коаксиальный вход сигнала, 3 — узел развязки ГШ и 1-го входа, 4 — ГШ на лавинопролетном диоде, 5 — вход сигнала управления ГШ, 6 — модулятор на диоде, 7 — усилитель питания модулятора, 8 — вход модулирующего сигнала, 9 — стабилизированный выпрямитель питания ГШ, усилителя модулятора и УНЧ, 10 — вход силового напряжения 220 В (примечание: входы 5, 8 и 10 поступают от блока управления), 11 — коаксиально-волноводный переход, 12 — циркулятор, 13 — параметрический усилитель, 14 — вход питания параметрического усилителя, 15 — туннельный усилитель, 16 — стабилизатор питания туннельного усилителя, 17 — квадратичный диодный детектор, 18 — УНЧ, 19 — коаксиальный выход низкочастотного сигнала к блоку управления.

человеческого тела. Описываемый в статье прибор может измерять температуру тела человека в слое ~ 1 мм с точностью до $0,05^\circ$ при односекундной постоянной времени.

Конструктивно радиометр выполнен в трех отдельных блоках: блок входа, блок питания параметрического усилителя и блок управления с низкой частотой. Все органы управления радиометром сосредоточены на передней панели блока управления. На рис. 1 показана функциональная схема входного блока. Модулятор, действующий по принципу, описанному в ПТЭ, № 2, 1970, изготовлен из волноводного замыкателя на NIPIN-диоде и коаксиального Y-циркулятора. Это потребовало применения одного коаксиально-волноводного перехода, но позволило иметь в радиометре два входа — один волноводный, второй — коаксиальный. В волноводный вход может быть подан сигнал от внутреннего ГШ через ослабляющую развязку порядка 30 дБ, в котором в качестве генератора используется лавинопролетный диод. Этот ГШ исполь-

зуется как для калибровки усиления тракта, так и для так называемого «подшумливания» антенны, если второй вход нагружен «черным телом» Усиление сигнала по СВЧ до квадратичного детектора выполняется двухкаскадным параметрическим и двухкаскадным туннельным усилителями с общим усилением 45 дБ, полоса пропускания на уровне 3 дБ составляет 300 МГц и определяется полосой пропускания параметрического усилителя. Квадратичный детектор — на видеодиоде, УНЧ — на стандартных микросхемах — имеет усиление на частоте модуляции 15—20 дБ. Такое большое усиление по низкой частоте позволяет поставить на входе блока управления делитель напряжения, снижающий влияние помех, наводимых на длинный кабель, соединяющий блок входа с блоком управления.

Блок управления выполнен на микросхемах в виде легко заменяемых при ремонте унифицированных узлов, также разработанных в НИРФИ. Его функциональная схема показана на рис. 2.

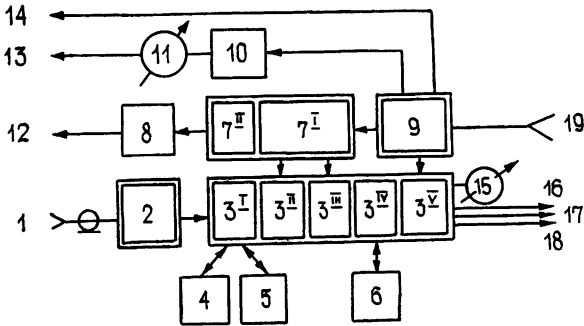


Рис. 2. Функциональная схема блока управления: 1 — коаксиальный вход низкочастотного сигнала, 2 — унифицированный узел УНЧ, 3 — унифицированный узел: 3^I — УНЧ, 3^{II} — синхронный интегратор, 3^{III} — фазовый детектор, 3^{IV} — RC-фильтр постоянного тока, 3^V — усилитель постоянного тока, 4 — дискретный аттенуатор на 20 дБ через 1 дБ, 5 — дискретный аттенуатор на 4 дБ через 1 дБ, 6 — переключатель постоянной времени 0,1—1, 1,0—10 секунд, 7 — унифицированный узел: 7^I — генератор меандра, 7^{II} — фазовращатель, 8 — переключатель фазы на 180°, 9 — унифицированный узел стабилизированного питания, 10 — схема управления током ГШ, 11 — миллиамперметр тока диода ГШ, 12, 13, 14 — подача на блок входа управляющих и силового напряжения, 15 — выходной прибор, 16, 17, 18 — выходы на КСП, осциллограф, ЭВМ, 19 — ввод напряжения 220 В.

Эксплуатационные параметры радиометра такие:

1. Флуктуационный порог чувствительности, измеренный по азотной нагрузке при постоянной времени 1 с, равен 0,05 К.
2. Динамический диапазон радиометра до 3000 К по входу обеспечивается дискретной аттенуацией через 1 дБ от 0 до 24 дБ с погрешностью, не превышающей долей процента.
3. Полоса пропускания по СВЧ 300 МГц. Средняя частота 6 ГГц
4. Радиометр питается от сети 220±22 В, 50 Гц.
5. Радиометр допускает следующие режимы работы:
 - а) Прием сигнала на волноводный вход; при этом второй вход нагружен согласованной коаксиальной нагрузкой. Для уравнивания начальной температуры входов включают внутренний ГШ и, регулируя его ток, «подшумливают» волноводный вход.
 - б) Прием сигнала на коаксиальный вход; при этом волноводный вход нагружается согласованной нагрузкой. В случае необходимости «подшумливания» коаксиального входа оно осуществляется внешним ГШ через коаксиальный направленный ответвитель.

в) Прием сигнала «качанием луча» — когда оба входа подключены к двум антеннам. Одна из них может быть направлена в зенит или на опорную область человеческого тела.

Для измерения температуры тела человека применяется режим работы типа «а». При этом в качестве антенны-датчика использовалась волноводная секция, заполненная диэлектриком и суживающаяся с основного сечения до раскрытия 5×8 мм². Антенна непосредственно прикладывалась к исследуемым участкам тела. Пространственная разрешающая способность антенны составила ~ 40 мм². Прибор в целом,

т. е. антенна — радиометр — регистрирующее устройство, был применен в качестве СВЧ термографа для измерений температурного контраста в области молочных желез, а также участков кожи здоровых и пораженных псориазом. По нашим измерениям температурная асимметрия на глубине ~ 1 мм участков кожного покрова над молочными железами в норме не превышает $0,1-0,2^\circ\text{C}$, тогда как в иных случаях эта величина достигает $\sim 1,5^\circ\text{C}$. Оказалось также, что участки кожи, пораженные псориазом, имеют температуру, на $1-2^\circ\text{C}$ превышающую температуру соседних и нормальных тканей, причем прибор достаточно четко фиксирует границы воспалительного процесса. Результаты подобных измерений могут быть использованы для исследования процесса нормализации кожного кровообращения при псориазе, различных дерматозах и т. д.

В заключение отметим широкие возможности радиометра на $\lambda \approx 5$ см не только при регистрации радиоизлучений биологических, но и радиоастрономических объектов.

Авторы признательны В. С. Троицкому за просмотр рукописи и сделанные при этом замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barrett A. H., Myers P. S.— Science, 1975, 190, № 4215, p. 662.
2. Троицкий В. С., Абрамов В. И., Белов И. Ф., Горбачев В. П., Густов А. В., Плечков В. М., Сизьмина Л. К.— Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 24, № 1, с. 118.
3. Троицкий В. С.— Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 24, № 9, с. 1054.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
18 февраля 1982 г.

УДК 551.510.535

ОБ ИОНОСФЕРНЫХ И ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЯХ В СРЕДНИХ ШИРОТАХ

Г. В. Федорович

Волновые возмущения (ВВ) электронной концентрации, плотности и температуры ионосферной плазмы, наряду с ветрами, дрейфами и приливными движениями, являются существенным компонентом динамической структуры ионосферы. Такие возмущения обнаруживаются при наблюдениях за ионосферой практически всеми методами — риометрическими [1], оптическими [2], радиометрическими [3], однако наиболее полные данные по ВВ получены методами радиозондирования ионосферы [4, 5].

Анализ совокупности данных по ВВ в ионосфере [6] позволил выделить отдельные крупномасштабные ВВ, сопровождающие интенсивные возмущения ионосферы во время полярных магнитных бурь, при взрывах, землетрясениях, извержениях вулканов и т. д. Эти ВВ прослеживаются [7] на расстояниях в тысячи километров вдоль земной поверхности и характеризуются скоростями распространения $1-3$ км/с [6, 8].

Рядом авторов отмечалась связь вариаций геомагнитного поля с возмущениями ионосферы в средних широтах (в полярных областях такая связь давно и хорошо изучена, см., например, [9]). Это было предсказано в работе [10] и, по-видимому, впервые было подтверждено экспериментально в [11]. Результаты систематического исследования корреляций между возмущениями ионосферы и геомагнитного поля приведены в работах [12, 13], где, однако, проводились только локальные измерения, так что они свидетельствуют лишь о синхронности колебаний ионосферы и геомагнитного поля, но не о волновом характере распространения геомагнитных вариаций. Последний вопрос для вариаций в средних широтах с периодами порядка десятков минут до настоящего времени не рассматривался.

Для выявления волнового характера распространения вариаций геомагнитного поля автором были проанализированы результаты, полученные на сети магнитометрических обсерваторий СССР. Рассматривался вопрос о синхронности вариаций, регистрируемых во время магнитных суббурь в различных точках на поверхности Земли. Анализ выявил наличие относительных запаздываний максимумов геомагнитных вариаций (как правило, H -компоненты) в большинстве анализируемых случаев. В качестве примера на рис. 1 приведены записи H -компоненты геомагнитного поля во время суббури, начавшейся 14.01.69 в ≈ 22 ч 00 мин УТ. Кривые a , b , v — записи полярных станций — Мурманск, Диксон, Уэлен соответственно. Видно, что максимальное возмущение наблюдалось в полуночном секторе (Мурманск, Диксон). В утреннем секторе (Уэлен) возмущение практически незаметно. Это дает основание судить о долготном распределении авроральных электронов.