

УДК 621.372.337

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ ВЕЛИЧИНЫ
КАЛИБРОВОЧНОГО СИГНАЛА

Р. М. КИРАКОСЯН

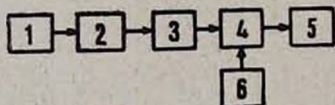
Ереванский политехнический институт

(Поступила в редакцию 26 марта 1983 г.)

В предлагаемом методе погрешность не более $\pm 4,5\%$ измерения калибровочного сигнала (КС) обеспечивается азотной нагрузкой, находящейся при температуре кипения азота, изменяемой в зависимости от давления азота. При этом коэффициент стоячей волны по напряжению нагрузки, оставаясь постоянным, не превышает 1,1—1,2. Метод позволяет проверять и оценивать относительную стабильность КС и старения генератора шума.

В последнее время в радиоастрономии в связи с исследованиями все более слабых источников СВЧ диапазона возрастает необходимость повышения чувствительности радиотелескопов, что, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к точности калибровочного сигнала (КС) радиометра.

Исследуемый КС находится в радиометре модуляционного типа с приемником прямого усиления для волны $\lambda = 18$ см (МР-18) с чувствительностью $\Delta T = 0,03$ К при постоянной интегрирования $\tau = 1$ с. Оптимальный коэффициент усиления СВЧ тракта $G = 54$ дБ, при этом доля шумов низкочастотной части составляет не более 15% от входных флуктуаций при мощности на входе детектора не более 10^{-6} Вт. Это усиление в радиометре реализуется одним каскадом неохлажденного регенеративного параметрического усилителя и тремя каскадами транзисторных усилителей. Калибровочный сигнал $T_k = 4,5 \pm 0,5$ К обеспечивается полупроводниковым генератором шума (ГШ) (см. рисунок) и вводится в антенный



Блок-схема входного тракта МР-18: 1 — первичный облучатель; 2 — переход с круглого волновода на прямоугольный волновод; 3 — соединительные кабели; 4 — ответвитель; 5 — радиоприемное устройство; 6 — генератор шума.

тракт через направленный ответвитель. Сигнал же от наблюдаемого источника до ответвителя проходит ряд элементов (облучатель, переход с круглого волновода на прямоугольный волновод, соединительные кабели), что приводит к его ослаблению в пределах 0,3—0,5 дБ. Для учета этих потерь КС приводится ко входу первичного облучателя. С этой целью либо тщательно измеряются и учитываются потери в тракте антенны, либо сиг-

нал ГШ откалибровывается по эталонному сигналу, подводимому непосредственно на вход первичного облучателя.

Предлагаемый нами метод позволяет повысить точность КС за счет использования подключаемой непосредственно к облучателю антенны азотной нагрузки с регулируемой в зависимости от давления температурой.

Измерение абсолютной величины КС принято проводить с помощью двух калибровочных шумовых сигналов T_0 и T_{az} [1], где T_0 — температура излучения поглощающей нагрузки («черного тела») при температуре окружающей среды 290 К, а T_{az} — температура излучения этой же нагрузки при температуре кипящего азота ~ 78 К. Как видим, «калибровочная ступенька» будет порядка 210 К, и с ней надо сравнивать сигнал T_k , который в 40—50 раз меньше, что неудобно и чревато ошибками из-за возможной перегрузки малошумящего приемника большим сигналом ~ 290 К, нелинейности усилительного тракта и т. п. Погрешность измерения абсолютной величины КС в этом случае получается не больше $\pm 10\%$.

В предложенном методе КС получается за счет изменения температуры кипения азота при изменении давления в криостате [2]:

$$T_{az} = 77,36 - 0,011 (760 - P) \quad (1)$$

(давление P измеряется в мм ртутного столба).

При увеличении или уменьшении давления на 100 мм рт. ст. легко получить ступеньку ΔT_{az} величиной около 1 К [3]:

$$T_{az1} - T_{az0} = T_k. \quad (2)$$

Здесь T_{az0} — температура кипения азота при атмосферном давлении, T_{az1} — при повышенном давлении. Измерение разности температур можно проводить с помощью термпары.

Описываемый метод имеет следующие особенности.

1. Измерения проводятся на уровне $T_{az} = 78$ К, что исключает перегрузку малошумящих усилителей. Выбор $\Delta T_{az} = T_k$ исключает влияние возможной нелинейности усилительных трактов и необходимость переключений, что обеспечивает постоянство коэффициента отражения нагрузки при переходе от T_{az0} к T_{az1} .

2. При измерениях изменений коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) нагрузки не происходит, так как метод является дифференциальным и влияние отражений на точность измерений пренебрежимо мало ($\sim 10^{-4}$). В полосе частот приемника желательно иметь КСВН нагрузки в заданном состоянии не выше 1,1—1,2.

Измеряемую радиометром разность температур азотной нагрузки при нормальном давлении (T_{az0}) и повышенном давлении (T_{az1}) при малых величинах коэффициентов отражения Γ и потерь κ можно рассчитать следующим образом [4]:

$$\begin{aligned} T_1 &= T_{az0} (1 - \Gamma^2) (1 - \kappa) + T_s \Gamma^2 + T_0 \kappa, \\ T_2 &= T_{az1} (1 - \Gamma^2) (1 - \kappa) + T_s \Gamma^2 + T_0 \kappa, \\ T_1 - T_2 &= (T_{az0} - T_{az1}) (1 - \Gamma^2) (1 - \kappa), \end{aligned} \quad (3)$$

где T_s — температура рупора-эквивалента, $T_1 - T_2 = \Delta T_{рад}$ — ступень

ка, измеряемая радиометром, $T_{\text{азо}} - T_{\text{аз1}} = \Delta T_{\text{терм.}}$ — разность температур, измеряемая термопарой.

При средней КСВН нагрузки в полосе частот приемника менее 1,1 ($\Gamma^2 = 2,5 \cdot 10^{-3}$) и при потерях в соединительной секции 0,5 дБ ($\kappa = 10^{-1}$) полученному на выходе радиометра КС следует приписать значение $T_k = \Delta T_{\text{рад}} = 0,896 T_{\text{терм.}}$.

Оценим ошибку измерений в предложенном методе. Как известно, имеются систематические и случайные ошибки. Первые возникают вследствие конечного значения коэффициента отражения от нагрузки и потерь в соединительной секции между нагрузкой и входом антенного тракта радиометра и имеют величину $\Delta T_{\text{сист}} = 10^{-4}$, вторые — случайные ошибки — обусловлены следующими факторами:

- 1) точностью градуировки термопары (для термопары медь—константан с термической ЭДС $16 \pm 0,3$ мкВ/К $\Delta T_{\text{терм.}} = 2 \cdot 10^{-2}$);
- 2) точностью измерения ЭДС термопары микровольтметром ($\pm 0,5$ мкВ, $\Delta T_{\text{мкв}} = 1,5 \cdot 10^{-2}$);
- 3) ошибкой отсчета с ленты самописца ступеньки ($\Delta T_k = 10^{-2}$);
- 4) ошибкой отсчета с ленты самописца ступеньки ($\Delta T_{\text{аз}} = 10^{-2}$);
- 5) ошибкой в величине Γ ($\Delta T_r \approx 10^{-3}$);
- 6) ошибкой в оценке величины κ ($\Delta T_\kappa \approx 0,5 \cdot 10^{-2}$).

Результирующая относительная погрешность при определении T_k составляет

$$\frac{\delta T_k}{T_k} = \sqrt{(\Delta T_{\text{сист.}})^2 + (\Delta T_{\text{терм.}})^2 + (\Delta T_{\text{мкв}})^2 + (\Delta T_k)^2 + (\Delta T_{\text{аз}})^2 + (\Delta T_r)^2 + (\Delta T_\kappa)^2}. \quad (4)$$

При приведенных выше значениях случайных и систематических ошибок для радиометра, работающего на длине волны 18 см с выбранными параметрами, обеспечивается точность определения КС T_k не ниже $\pm 4,5\%$.

Предлагаемый нами метод измерения КС исключает ошибки, связанные с определением потерь во входных узлах, и позволяет осуществлять точную калибровку внутреннего твердотелого генератора, проверять и оценивать относительную стабильность всей приемной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин А. Д., Соломонович А. Е. Радиоастрономические методы измерения параметров антенны. Изд. Советское радио, М., 1964.
2. Hardly W. N. IEEE Trans., MTT-3, 149 (1973).
3. Корольков Д. В., Нижельский Н. А., Тимофеева Г. М. Тезисы докладов XI ВРК по аппаратуре, антеннам и методам. Ереван, 1978.
4. Есенкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. Изд. Наука, М., 1973.

ՏՐԱՄԱՋԱՓԻՉ ԱՉԴԱՆՇԱՆԻ ԲԱՅԱՐՉԱԿ ՄԵԾՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Ռ. Մ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ

Առաջադրվող եղանակում տրամաշափիչ աղբանշանի չափման ճշտությունը $\pm 4,5\%$ սահմաններում ապահովվում է աղբատարի բեռով, որն աշխատում է ճնշումից կախված աղբոսի եռ-

ման չերմաստիճանում: Այս եղանակով կարելի է ստուգել և գնահատել տրամաչափիչ ազդանշանի հարաբերական կալիբրացիան և ազմուկի գններատորի ծերացումը:

A TECHNIQUE FOR MEASURING THE ABSOLUTE VALUE OF A CALIBRATED SIGNAL

R. M. KIRAKOSYAN

In the proposed procedure the value of the error of calibrated signal measurement within $\pm 4.5\%$ is provided by using a nitrogen load at its boiling temperature that is controlled and varied by the nitrogen pressure. In addition, this technique allows to check and estimate both the relative stability of calibrated signal and the degradation of noise generator.