

Изобретение относится к измерительной технике, а именно, к измерению температур по тепловому излучению в КВЧ-диапазоне и может быть использовано при измерении температур в металлургическом производстве, ракетной технике, при исследованиях МГД-преобразователей тепловой энергии в электрическую, для измерений электронной температуры плазмы в установках «Токамак» и «Стелларатор» при решении проблемы управляемого термоядерного синтеза, а также в ряде других областей науки и техники [1].

Измерение температур по тепловому КВЧ излучению осуществляется радиопирометрами, градуировка которых в см-диапазоне длин волн, а также в длинноволновой части мм-диапазона длин волн проводится при помощи серийно выпускаемых и аттестованных по ГОСТ 8.037-81 газоразрядных генераторов шума [2].

В коротковолновой части мм-диапазона длин волн (для частот выше 60 ГГц) аттестованные промышленные средства градуировки радиопирометров не выпускаются. Это связано с тем, что при увеличении частоты коэффициент излучения плазмы тлеющего разряда в газоразрядной трубке резко падает и наблюдается сильная зависимость шумовой температуры от частоты. Например, по данным работы [3] при увеличении рабочей частоты в два раза коэффициент излучения газоразрядной трубки типа Гш-6 снижается до 0,14, а эффективная температура уменьшается почти на порядок.

В связи с этим разработка способов и высокотемпературных средств для градуировки радиопирометров в коротковолновой части мм-диапазона длин волн является одной из актуальных задач высокотемпературной пирометрии.

В качестве прототипа можно рассмотреть способ градуировки, при котором на вход радиопирометра подают сигнал от теплового излучателя с известной шумовой температурой, а его величину на выходе отмечают на шкале радио пирометра.

Недостатком данного способа в коротковолновой части мм-диапазона длин волн является то, что при малых уровнях сигнала градуировка производится, как правило, на уровне шумов радиопирометра. Это обстоятельство существенно снижает точность градуировки, и приводит к необходимости разрабатывать высокочувствительные схемы радио пирометров, что ведет к неоправданным материальным затратам.

В качестве прототипа устройства для градуировки радио пирометров в коротковолновой части мм-диапазона длин волн можно указать на излучатель, содержащий волновод и согласованную нагрузку, выполненную из высокотемпературного материала в виде двухстороннего клина, температура которой контролируется, например, термопарой, а изменение температуры достигается путем нагрева излучателя при помощи расположенной с внешней стороны волновода спирали [4].

К недостаткам прототипа можно отнести то, что тепловые излучатели обладают малой мощностью излучения (шумовая температура не превышает 1000°С), а температурный градиент, образующийся вдоль излучающей поверхности приводит к появлению систематической погрешности градуировки радио пирометров. Кроме того, градуируемые радио пирометры должны обладать высокой чувствительностью, для того чтобы надежно регистрировать весьма незначительную мощность теплового излучателя.

Задачей предлагаемого способа является повышение точности а также расширение частотного диапазона градуировки радио пирометров КВЧ-диапазона в коротковолновую область мм-диапазона длин волн при помощи высокотемпературного само калибрующегося газоразрядного излучателя.

Поставленная задача решается тем, что в способе градуировки радио пирометра, при котором на вход радио пирометра подают сигнал с известной шумовой температурой, а показания на выходе радио пирометра отмечают на его шкале, согласно предложению на вход радио пирометра подают сигналы от трех источников излучения с неизвестными температурами, сначала от первого, затем от второго и, наконец, от первого и второго включенными одновременно, измеряют приращения напряжений на выходе радио пирометра  $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$  и  $\Delta U_3$ , пропорциональные шумовым температурам включаемых при помощи электронного устройства управления источников излучения (трубок Гш1, Гш2 и Гш1+Гш2 соответственно) и отмечают на шкале радио пирометра температуры, которые вычисляют из формул:

$$T_1 = T_e(\Delta U_1 + \Delta U_2 - \Delta U_3) / \Delta U_1,$$

$$T_2 = T_1(\Delta U_2 / \Delta U_1),$$

$$T_3 = T_1[1 + (\Delta U_3 - \Delta U_1) / \Delta U_1]$$

Задачей разработки предлагаемого устройства является обеспечение радио пирометров КВЧ-диапазона средством градуировки повышенной точности и надежности в любой точке коротковолновой части мм-диапазона длин волн при помощи высокотемпературного само калибрующегося газоразрядного излучателя.

Осуществление поставленной цели достигается тем, что в устройстве для градуировки радио пирометров КВЧ-диапазона, содержащем волновод с согласованной нагрузкой, источник излучения и блок управления, согласно предложению применен квазиоптический волновод, в котором расположены три источника излучений, два из них представляют собой газоразрядные трубки типа Гш, введенные в волновод под углом 10° к одной из его стенок последовательно друг за другом на расстоянии  $L \gg \lambda$ , и включаемые при помощи электронного устройства управления отдельно друг от друга, а в качестве третьего источника используются эти же две газоразрядные трубки, но включенные одновременно.

На фигуре представлена схема высокотемпературного газоразрядного излучателя с самокалибровкой для реализации предложенного способа градуировки радиопирометров КВЧ-диапазона, где 1- радиопирометр; 2- квазиоптический волновод; 3- согласованная нагрузка; 4- устройство управления (Э. К. - электронный коммутатор; И.П. - источник питания), Гш1 и Гш2 - газоразрядные генераторы шума.

Устройство содержит волновод с согласованной нагрузкой, источники излучения и устройство управления. Согласно предложению, в устройстве применен квазиоптический волновод 2 с согласованной нагрузкой 3, а в качестве источников излучения используются две газоразрядные трубки Гш1 и Гш2,

введенные в волновод под углом  $10^\circ$  к одной из его стенок последовательно друг за другом на расстоянии  $L \gg \lambda$ , которые могут включаться при помощи электронного устройства управления 4 как отдельно друг от друга, так и вместе.

Предложенный способ градуировки радиопирометров характеризуется следующими операциями:

- подают на вход радиопирометра сигнал от первого источника излучения (трубки Гш1) с неизвестной шумовой температурой  $T_1$ ;
- измеряют на выходе радиопирометра приращение напряжения  $\Delta U_1$ , пропорциональное шумовой температуре первого источника

$$\Delta U_1 = U_1 - U_{\text{ш.пир.}} = \gamma T_1 = \\ = \gamma T_e [1 - \alpha(\omega)] \varepsilon(\omega),$$

- подают на вход радиопирометра сигнал от второго источника (трубки Гш2) с неизвестной шумовой температурой  $T_2$ ;

- измеряют на выходе радиопирометра приращение напряжения  $\Delta U_2$ , пропорциональное шумовой температуре второго источника

$$\Delta U_2 = U_2 - U_{\text{ш.пир.}} = \gamma T_2 = \\ = \gamma T_e [1 - \alpha(\omega)]^2 \varepsilon(\omega),$$

- подают на вход радио пирометра сигнал от третьего источника (трубок Гш1 и Гш2, включенных одновременно);

- измеряют на выходе радиопирометра приращение напряжения  $\Delta U_3$ , пропорциональное температуре третьего источника

$$\Delta U_3 = U_1 - U_{\text{ш.пир.}} = \gamma T_3 = \\ = \gamma T_e \varepsilon [1 - \alpha(\omega)] [1 + [1 - \alpha(\omega)] [1 - \varepsilon(\omega)]]$$

Здесь  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  - напряжения, пропорциональные сумме шумовых температур радиопирометра и газоразрядных трубок Гш1, Гш2 и Гш3 соответственно;  $U_{\text{ш.пир.}}$  - напряжение, соответствующее шумовой температуре радиопирометра,  $\alpha(\omega)$  - величина потерь шумового излучения в волноводе и стеклянном балоне трубки Гш,  $\varepsilon(\omega)$  - коэффициент излучения плазмы в газоразрядной трубке,  $\gamma$  - коэффициент пропорциональности.

Электронная температура плазмы положительного столба тлеющего разряда в трубке Гш определяется из условия [5]

$$\frac{e^x}{\sqrt{x}} = 1,2 \cdot 10^7 (CpR)^2 \\ x = \frac{eV_i}{kT_e}$$

где  $e$  - заряд электрона,  $V_k$  - потенциал ионизации газа,  $k$  - постоянная Больцмана,  $p$  - давление газа.  $C$  - параметр, характеризующий газ,  $R$  - радиус газоразрядной трубки.

Полученные уравнения образуют систему уравнений, решая которую определяем неизвестные параметры  $\alpha(\omega)$  и  $\varepsilon(\omega)$

$$\alpha(\omega) = 1 - \Delta U_2 / \Delta U_1; \\ \varepsilon(\omega) = 1 - (\Delta U_3 - \Delta U_1) / \Delta U_2$$

Подставляя эти параметры в исходные уравнения, находим три значения шумовой температуры, которые наносятся на шкалу радио пирометра:

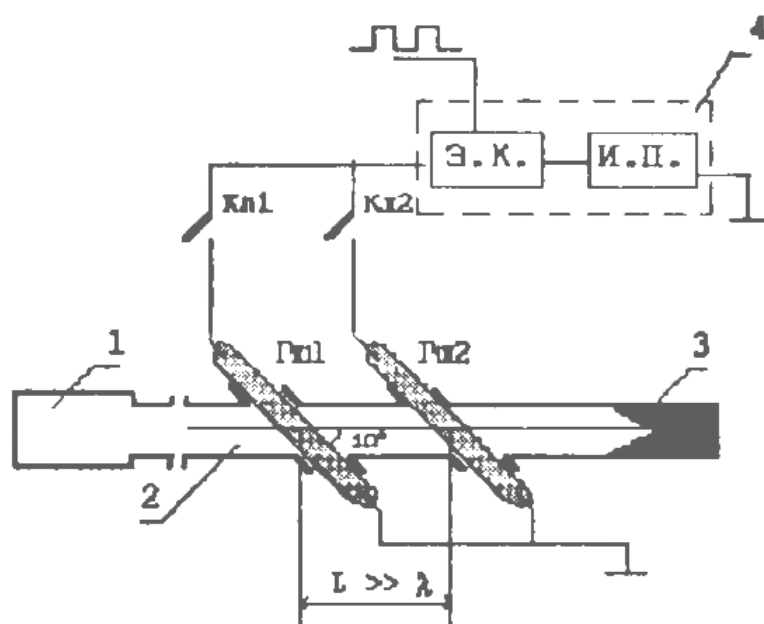
$$T = T_e (\Delta U_1 + \Delta U_2 - \Delta U_3) / \Delta U_1, \\ T_2 = T_1 (\Delta U_2 / \Delta U_1), \\ T_3 = T_1 [1 + (\Delta U_3 - \Delta U_1) / \Delta U_1].$$

Например, при использовании газоразрядных трубок типа Гш-6, эффективные шумовые температуры, измеренные данным способом на частоте 150 ГГц, составили:

$$T_1 = 3600\text{K}; \\ T_2 = 2400\text{K}; \\ T_3 = 5400\text{K}.$$

Практическая реализация показала, что предложенные способ и устройство обладают следующими научно-техническими преимуществами:

- позволяют производить экспресс градуировку и поверку радио пирометров в любой частотной точке коротковолновой части мм-диапазона длин волн;
- расширяют частотный диапазон и повышают точность и градуировки радио пирометров;
- позволяют получать в каждой частотной точке рабочего диапазона длин волн три значения шумовой температуры, увеличивая тем самым эффективность и надежность градуировки радиопирометров.



Фиг.