

УДК 621.316.933.6

ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ ШУМОВОЙ СВЧ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ТИПА «ЧЕРНОЕ ТЕЛО» С ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ 10^4 К

С. В. Бутакова

Описан излучатель с круглой апертурой для антенных измерений, представляющий собой нефазированную волноводно-щелевую антенную решетку, возбуждаемую газоразрядными генераторами шума. Приведена установка для аттестации излучателя по яркостной температуре с помощью государственного эталона ГЭТ-127. Определена яркостная температура излучателя — $T_n = 9350$ К, погрешность не превышает 3%. Измеренная диаграмма излучения в плоскостях E, H в секторе углов $\pm 5^\circ$ около электрической оси излучателя уже диаграммы Ламберга не более чем на 3%.

При измерении параметров антенн радиометрическим методом в качестве образцовых излучателей используются черные диски, представляющие собой диск с радиопоглощающим покрытием, имеющим яркостную температуру, близкую к температуре окружающей среды (~ 300 К). Радиометрический метод является наиболее точным методом измерения внешних параметров антенн [1, 2].

Измерение параметров антенн по черным дискам имеет ряд недостатков, связанных с низким уровнем собственного излучения дисков. Во-первых, применение черных дисков возможно лишь в сантиметровом и дециметровом диапазонах волн, где яркостная температура неба невелика (от единиц до десятков кельвинов). В остальных СВЧ диапазонах небо «горячее» дисков: в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах излучение атмосферы имеет яркостную температуру в несколько сот кельвинов, в метровом диапазоне температура космического радиоизлучения — тысячи кельвинов. Во-вторых, на точность измерений оказывают большое влияние посторонние радиоизлучения земных объектов (поверхность почвы, леса, местных предметов), поскольку их яркостная температура соизмерима с яркостной температурой черных дисков. В-третьих, необходимы измерительные приемники с высокой чувствительностью, достижение которой требует заметных затрат [3].

Перечисленные недостатки исключаются, если вместо черного диска использовать широкоапертурный высокотемпературный СВЧ излучатель, разработанный в последние годы для целей плазменной диагностики и обеспечения единства измерений температуры до 10^5 К по международной практической температурной шкале МПТШ-68, прошедший аттестацию по яркостной температуре с помощью государственного специального эталона единицы температуры в диапазоне 10^3 — 10^5 К по излучению в микроволновой области спектра [4].

Показанный на рис. 1 излучатель представляет собой антенную решетку. Элемент решетки изображен на рис. 1а, вид излучателя со стороны излучающей апертуры — на рис. 1б. Излучатель состоит из отрезков квадратных волноводов 1, короткозамкнутых с обоих концов подвижными поршнями 2. Размеры поперечного сечения волноводов

выбраны из условия возбуждения продольной волны E_{11} . Через отверстия в поршнях 2 в каждый волновод введена газоразрядная трубка 3—генератор шума типа ГШ, расположенная вдоль оси волновода 1. На одной боковой стенке волновода прорезаны симметричные полу-волновые щели. На рис. 1а стенка со щелями снята. Щели прорезаны на участке стенки между поршнями 2. Расстояние между щелями равно $\Lambda_{11}/2$ (Λ_{11} — длина волны E_{11} в волноводе). Щели образуют излучающую апертуру 4. Для подключения к стойке питания излучатель снабжен штыревыми разъемами типа ШР (5).

При включении газоразрядных генераторов шума 3 в волноводе 1 между поршнями 2 возбуждаются электромагнитные колебания моды E_{11} , поскольку только для этой моды выполняются граничные условия возбуждения — протяженный источник сторонних токов расположен в пучностях поля пространственного распределения собственных колебаний именно этой волны. Волны E_{11} многократно отражаются от подвижных короткозамыкающих поршней 2 и поглощаются в положительном столбе газового разряда в средней части газоразрядной трубки.

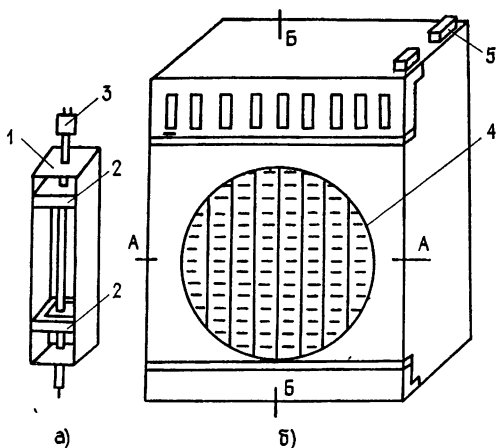


Рис. 1.

Это приводит к выравниванию яркостной температуры вдоль оси газоразрядного генератора шума. Одновременно волны E_{11} возбуждают в стенках волновода поверхностные токи, вызывающие излучение полуволновых щелей, расположенных в пучностях тока. Излучение щелей является некоррелированным. Поэтому антенная решетка, на базе которой выполнен данный излучатель, является нефазированной, т. е. ее множитель решетки равен единице в отличие от ФАР, имеющих множитель решетки всегда больше единицы. Диаграмма направленности нефазированной решетки равна диаграмме направленности одного элемента [5] — одиночной щели — и близка к диаграмме Ламберта (диаграмме излучения черного тела) в секторе углов вблизи электрической оси излучающей апертуры.

Именно это последнее обстоятельство позволяет использовать нефазированные решетки в качестве моделей черного тела в микроволновом диапазоне. К таким моделям относится и черный диск, упомянутый выше.

Описанный излучатель можно использовать вместо черного диска для измерения параметров антенн (коэффициентов усиления и рассеяния, КПД, поляризационных и фазовых характеристик). Для этого следует измерить с высокой точностью яркостную температуру излучателя, эффективные размеры излучающей апертуры, отклонение диаграммы излучения от диаграммы Ламберта, т. е. провести метрологическую аттестацию. Метрологическая аттестация включает снятие распределения шумовой мощности по апертуре, сличение локальной шумовой мощности в некоторой точке апертуры с яркостной температурой эталонного излучателя, вычисление средней яркостной температуры, снятие диаграммы направленности в секторе углов около электрической оси излучателя.

Метрологическая аттестация излучателя выполнялась с помощью упомянутого государственного эталона [4]. Схема измерений показана на рис. 2 [6]. На эталонном столе 1 перемещаются две каретки 2 (вдоль и поперек стола, вращение вокруг вертикальной оси.) На каретках установлены исследуемый излучатель 3, подсоединенный к стойке питания 4, и измерительный приемник 5 с испытательным зондом 6. В качестве измерительного приемника используется серийный отечественный радиометр модуляционного типа, например П5-13. Точность измерения радишумовой мощности в подобных приемниках определяется точностью установки затухания в выходном аттенуаторе. Для повышения точности на вход приемника включается прецизионный поляризационный аттенуатор, например типа Д5-4, и при измерениях используется только он, а встроенный в приемник аттенуатор устанавливается в нулевое положение. Испытательный зонд 6 представляет собой пирамидальный рупор с раскрывом $3,5 \times 4,35 \lambda^2$ (λ — длина волны в свободном пространстве). По кромке рупора установлено радиопоглощающее обрамление 7.

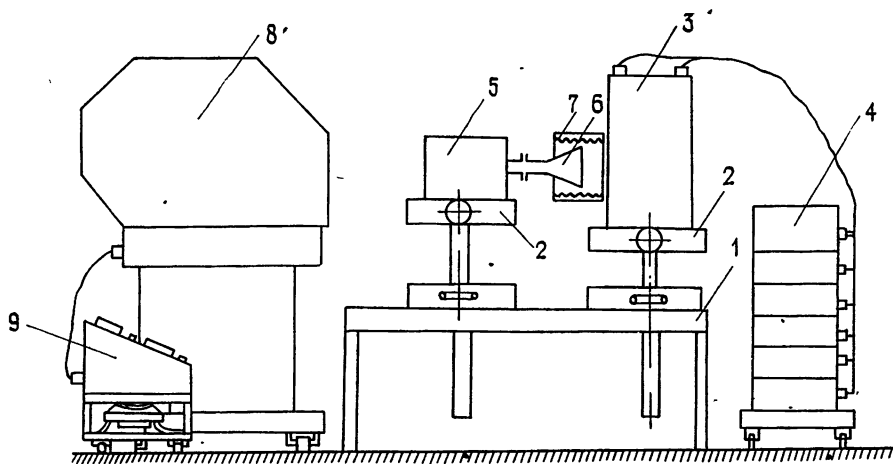


Рис. 2.

С помощью каретки 2 измерительный приемник 5 вместе с испытательным зондом 6 может поворачиваться на 180° , так что испытательный зонд направляется либо на апертуру исследуемого излучателя 3, как показано на рис. 2, либо на апертуру эталонного теплового излучателя 8, подключенного к своему пульту управления 9. Эталонный излучатель представляет собой модель черного тела в виде изотермической полости, выложенной изнутри радиопоглощающим материалом повышенной термостойкости и имеющей форму выпуклого многогранника, обеспечивающую многократное переотражение лучей внутри полости. Яркостная температура эталонного излучателя определяется на основе закона Рэлея—Джинса и известна с высокой точностью.

При снятии распределений шумовой мощности испытательный зонд перемещается по апертуре исследуемого излучателя (см. рис. 2). При сличении испытуемого излучателя с эталонным испытательный зонд поочередно направляется на апертуру излучателей. В обоих случаях фиксируется показание измерительного приемника. Методика обработки результатов измерений и определения погрешностей метрологической аттестации описана в [8, 9].

На рис. 3а, б приведены распределения шумовой мощности, снятые вдоль двух взаимно перпендикулярных диаметров апертуры излучателя — вдоль диаметра АА, параллельного щелям, и вдоль диаметра

ББ, параллельного осей волноводов. Линии 1—8 на рис. За соответствующим положению проекции центра апертуры зонда на ось симметрии одного из волноводов. Линии 1—15 на рис. 3б соответствуют положению зонда, при котором центр апертуры зонда проектируется в среднюю точку линии, соединяющей две ближайшие щели на апертуре излучателя с одинаковым порядковым номером.

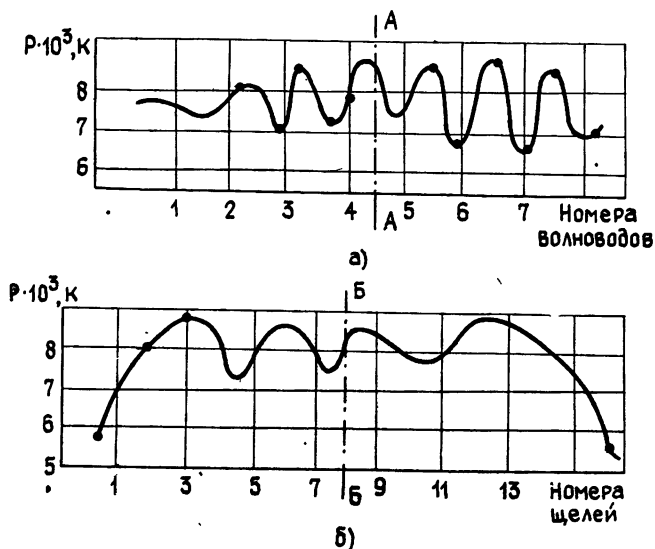


Рис. 3.

В результате проведения метрологической аттестации средняя яркостная температура излучателя получена равной 9350 К (превышение над уровнем температуры окружающей среды) на апертуре диаметром около 10,8 λ. Суммарная среднеквадратичная погрешность аттестации при использовании прецизионных поляризационных аттенюаторов не превышает 3%.

Заметим, что, используя аттенюаторы, встроенные в серийные измерительные приемники, например типа П5-13, получаем несколько большую погрешность — 6%, но и она не превышает погрешности для образцовых средств измерений температуры до 10⁵ К по микроволновому излучению, допускаемой государственной поверочной схемой по ГОСТ 8.421-81.

Диаграммы излучения исследуемого излучателя измерялись в плоскостях *E. H.* В секторе углов $\Delta\varphi = \pm 5^\circ$, $\Delta\nu = \pm 5^\circ$ вокруг электрической оси излучателя получено отклонение от диаграммы Ламберта не более 3%.

Таким образом, описанный излучатель является образцовым средством измерения параметров антенн радиометрическим методом. Излучатель относится к моделям черного тела, излучательная мощность которых более чем на порядок превышает шумовую мощность, излучаемую черными дисками.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Цейтлин Н. М. Применение методов радиоастрономии в антенной технике — М: Сов. радио, 1966.
- 2 Андрианов В. И., Бахрах Л. Д., Вавилова И. В., Волков В. Г., Могильникова К. И. — Антенны, 1973, № 18, с 3
- 3 Цейтлин Н. М. Антенная техника и радиоастрономия. — М: Сов радио, 1976.
4. ГОСТ 8421-81.

5. Бутакова С. В. — Сб Измерение высоких температур и диагностика плазмы. — Л.: ВНИИМ, 1978, с 13.
6. Авторское свидетельство СССР № 673937. Бюл изобрет., 1979, № 26.
7. Бутакова С. В. — Сб. Методы и средства высокоточных спектропиометрических и радиометрических измерений. — Л.: Энергия, 1980, с. 57.
8. Бутакова С. В., Жила И. Е. — Сб. трудов IV конференции молодых ученых и специалистов Госстандарта «Влияние повышения эффективности работ в области стандартизации и метрологии на качество выпускаемой продукции». — Харьков: ХГНИИМ, 1980, с. 209
9. Бутакова С. В., Жила И. Е., Ильинский А П, Иосельсон Г Л, Ключнер Г. Л., Моргулис Я М — Сб. Вопросы метрологического обеспечения в области высокотемпературных измерений. — Л.: ВНИИМ, 1982, с 8.

Научно-производственное объединение
«Метрология»

Поступила в редакцию
29 ноября 1983 г.

THE WIDE-APERTURE NOISE UHF EMITTER OF THE «BLACK BODY» TYPE WITH BRIGHTNESS TEMPERATURE OF 10^4 K

S. V. Butakova

An emitter with a round aperture for antenna measurements, which is a non-phase waveguide slot antenna array, excited by gasdischarge noise generators, is described. An apparatus for attesting of the emitter by the brightness temperature with the help of a state etalon ГЭТ-127 is mentioned. The brightness temperature of the emitter $T_b = 9350$ K is determined, the error does not exceed 3%. The measured diagram of emission in E, H planes in the angle sector of $\pm 5^\circ$ near the emitter electric axis is narrower than the Lambert diagram by no more than 3%.

Аннотации депонированных статей

УДК 621.373.826

О корреляционном анализе флуктуаций излучения в случайно-неоднородной среде

(Окончание, начало см. с. 1430)

Характер влияния флуктуационного ветра на пространственную корреляцию в целом одинаков для разных типов волн и любых временных задержек. При увеличении σ_{\perp}/v_{\perp} уменьшается максимум и изменяется форма кросскорреляционных функций. В предельном случае ($v_{\perp} = 0$) корреляция равна нулю. При флуктуирующем ветре $B_{12}(\rho, \tau = \text{const})$ сферической волны и узкого пучка несимметричны относительно наибольшего значения. Максимум взаимно-корреляционной функции при увеличении σ_{\perp}/v_{\perp} сдвигается к нулю, его величина уменьшается, и в предельном случае ($v_{\perp} = 0$) взаимная корреляционная функция становится четной. При $\sigma_{\perp} \neq 0$ $B_{12}(\tau)$ несимметричны относительно максимума. Эти закономерности справедливы для всех типов волн. Зависимость временных кросскорреляционных функций от угла α определяется двумя факторами: флуктуационной компонентой скорости ветра и дифракционными размерами излучателя. Наличие σ_{\perp} приводит к более медленному уменьшению максимума и замедлению смещения его положения к нулю при изменении угла α , чем в случае нефлуктуирующего ветра.

Проведенный численный анализ позволяет оценить ошибки определения σ_{\perp} известными методами корреляционного анализа. В работе показано, что методом пересечения авто- и взаимно-корреляционных функций флуктуаций уровня амплитуды плоской волны можно определять проекцию v_{\perp} на направление разноса точек наблюдения при любых отношениях σ_{\perp}/v_{\perp} .

Статья депонирована в ВИНТИ,
рег. № 5927—84. Деп. от 20 августа 1984 г.