

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 621.396.67

**К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ
РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ В ДИАПАЗОНЕ
МЕТРОВЫХ ДЛИН ВОЛН**

С. А. Пелюшенко, М. Е. Миллер

Радиопоглощающие покрытия находят широкое применение в антенной технике при создании эталонов теплового излучения — «черных» дисков, которые используются при абсолютной калибровке параметров антенн [1] в диапазоне от миллиметровых до метровых длин волн. В большинстве случаев качество радиопоглощающего материала в достаточной мере определяется величиной коэффициента отражения по мощности R . В случае использования поглощающего материала в качестве покрытия «черного» диска неопределенность величины R приводит к неопределенности излучательной способности $(1-R)$ «черного» диска, что может внести существенную погрешность в абсолютные измерения параметров исследуемых антенн.

В диапазоне миллиметровых-дециметровых длин волн для измерений коэффициента отражения R используются традиционные методы, которые основаны на интерференции прямого и отраженного от образца с поглощающим покрытием монохроматических сигналов и позволяют с необходимой точностью определить излучательную способность «черного» диска. Однако в диапазоне метровых длин волн возможность применения традиционных методов измерений и оперативного контроля коэффициента отражения «черного» диска ограничивается техническими трудностями, связанными с существенным увеличением линейных размеров «черных» дисков и, соответственно, размеров установок для измерения коэффициента отражения.

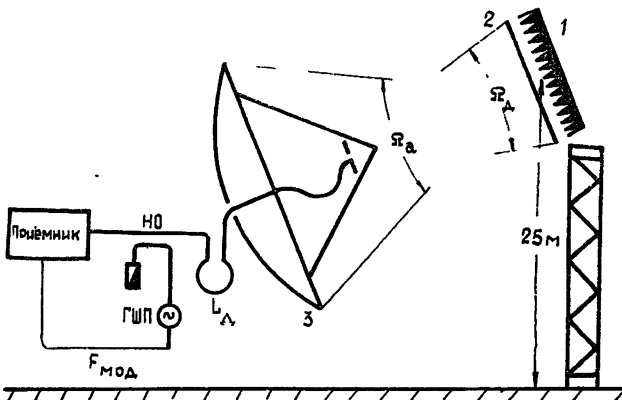


Рис. 1.

Схема измерений коэффициента отражения по методу подсветки:

1 — «черный диск» диаметром 5 м, 2 — отражающий металлический диск, изготовленный из тканого металлизированного материала, 3 — антенна РТВС-12 с зеркалом диаметром 12 м, L_d — длинная линия, НО — направленный ответвитель, ГШП — диодный шумовой генератор типа ГШП-ЗВ-1 с эффективной шумовой температурой 10^6 К.

В данной работе предложен и апробирован способ определения излучательной способности «черного» диска методом подсветки [2], заключающимся в том, что «черный» диск подсвечивается через исследуемую антенну модулированным шумовым сигналом в полосе частот. Коэффициент отражения определяется при этом непосредственно по величине сигнала, отраженного «черным» диском и принятого той же ан-

тенной. Блок-схема установки для измерения коэффициента отражения радиопоглощающих материалов по методу подсветки приведена на рис. 1. Установка включает в себя, помимо антенны и «черного» диска, модуляционный радиометр, подключенный к антенне через длинную линию L_d , и направленный ответвитель НО, соединенный с генератором шума.

Рассмотрим ряд соотношений, которые выполняются при проведении измерений по методу подсветки. Отметим, что наличие модуляции сигнала подсветки имеет принципиальное значение, так как позволяет исключить на выходе радиометра отклик на собственное тепловое излучение окружающих антенну предметов. Пользуясь результатами расчетов, приведенных в работах [2, 3], можем записать общее выражение для приращения сигнала на выходе приемника при подсветке «черного» диска шумовым сигналом с эффективной температурой $T_{ГШП}$ (при условии полного согласования приемника с антенной):

$$\Delta T_{a,d} = T_{ГШП} K_{12} (1 - \beta_a^d) (1 - \beta_{\Omega_d}^a) \eta^2 R + 2\Phi(\Delta\omega, L) T_{ГШП} \eta [(1 - \beta_a^d)(1 - \beta_{\Omega_d}^a) K_{12} K_{13} R]^{1,2} \cos(kL + \Psi) \quad (1)$$

Первое слагаемое в (1) определяет долю мощности, принятую антенной за счет переотражения диском, покрытым радиопоглощающим материалом с коэффициентом отражения по мощности R . Второе слагаемое определяется интерференцией этого сигнала с частью сигнала генератора подсветки, непосредственно проникающего на вход приемника за счет конечной развязки K_{13} направленного ответвителя НО (рис. 1). В (1) введены следующие обозначения: K_{12} — переходное ослабление направленного ответвителя НО, $\beta_{\Omega_d}^a$ — коэффициент рассеяния антенны вне телесного угла Ω_d ,

$\beta_a^d = 1 - \int_{\Omega_a} F_d d\Omega / \int_{4\pi} F_d d\Omega$ — коэффициент рассеяния диска, имеющего диаграмму F_d , вне телесного угла Ω_a ; η — КПД антенного тракта и антенны, $k = 2\pi/\lambda_{ср}$, $\lambda_{ср}$ — средняя рабочая длина волны, L — разность путей распространения интерферирующих сигналов, Ψ — разность фаз интерферирующих сигналов. Огибающая кривая интерференционной составляющей в суммарном сигнале (1) определяется функцией видности $\Phi(\Delta\omega, L)$, величина которой зависит от полосы приема $\Delta\omega$ и разности путей распространения интерферирующих сигналов L . Если L выбрана достаточно большой, так что удовлетворяется условие

$$\Phi(\Delta\omega, L) \ll 1 \quad (2)$$

при заданной полосе приема $\Delta\omega$, то вторым слагаемым в выражении (1) можно пренебречь по сравнению с первым, и получим простое выражение для приращения сигнала от «черного» диска в режиме подсветки:

$$\Delta T_{a,d} = R T_{ГШП} K_{12} (1 - \beta_a^d) (1 - \beta_{\Omega_d}^a) \eta^2. \quad (3)$$

Как видно из (3), приращение сигнала $\Delta T_{a,d}$ является линейной функцией от R .

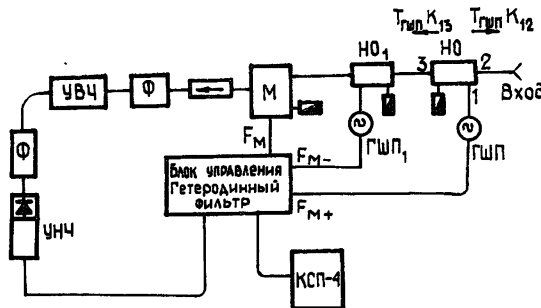


Рис. 2.

Блок-схема радиометра для измерений по методу подсветки:

НО — направленный ответвитель для сигнала подсветки, НО₁ — направленный ответвитель для сигнала компенсации для обеспечения квазиулевого режима измерений, F_{M+} и F_{M-} — частоты модуляции, сдвинутые по фазе на 180°, M — модулятор-переключатель, используемый только при радиометрическом режиме измерений, Φ — сменные полосовые фильтры, УВЧ — широкополосные транзисторные усилители.

Калибровку $\Delta T_{a,d}$ можно провести по приращению сигнала от сплошного металлического диска, коэффициент отражения которого $R_d = 1$, или по приращению сигнала

От сетчатого диска с расчетным значением коэффициента отражения R_d . Калибровочный металлический диск располагается при этом на том же расстоянии от антенны и имеет размеры, равные размерам «черного» диска. Приращение сигнала на выходе приемника при подсветке металлического диска определяется выражением, аналогичным (3):

$$\Delta T_{a.m} = R_d T_{ГШП} K_{12} (1 - \beta_{\Sigma_d}^n) (1 - \beta_{\Sigma_d}^a) \eta^2. \quad (4)$$

Из (4) и (3) легко определяется коэффициент отражения

$$R = (\Delta T_{a.d} / \Delta T_{a.m}) R_d. \quad (5)$$

Точность измерений с использованием сетчатого диска по сравнению со сплошным диском должна быть при этом выше, так как можно выбрать R_d примерно равным R и исключить влияние нелинейности шкалы приемника на точность измерений.

Описанный способ измерений был апробирован в июне 1982 г. на радиоастрономической станции НИРФИ «Старая Пустынь» при исследованиях параметров 5-метрового «черного» диска, входящего совместно с антенной РТВС-12 в состав радиоастрономического комплекса, предназначенного для абсолютных измерений потоков дискретных радиосточников и интенсивности распределенного космического излучения в диапазонах дециметровых и метровых длин волн [4]. Измерения проводились с использованием модуляционного радиометра, блок-схема которого приведена на рис. 2. Приемник, выполненный по схеме прямого усиления с блоком сменных фильтров, обеспечивал прием сигнала в полосе 25 МГц на одной из фиксированных частот в диапазоне 200—600 МГц. Чувствительность приемника при подключении на вход согласованной нагрузки при температуре 300 К составляла 0,2 К при постоянной времени 1 с. Приемник подключен к облучателю через длинную линию с $L_d = 30$ м. Необходимо отметить, что при измерениях по методу подсветки ухудшается отношение сигнал-шум на входе приемника за счет дополнительного увеличения входных шумов при включенном генераторе подсветки. Уровень дополнительных шумов определяется конечной величиной направленности НО, отражением шумов генератора подсветки от неоднородностей длинной линии и от облучателя за счет его неполного согласования. Используя соотношения (4), можно получить выражение для отношения сигнал-шум на входе приемника:

$$\frac{S}{\Delta S} = \Delta T_{a.d} (T_{ш.увч} + T_{ГШП} K_{13} + T_{ГШП} K_{12} R_{обл} + \Delta T_{a.d})^{-1}, \quad (6)$$

где $T_{ш.увч}$ — температура собственных шумов приемника, приведенная ко входу, $R_{обл}$ — коэффициент отражения от облучателя за счет неполного согласования, K_{13} — переходное затухание направленного ответвителя НО. Результаты расчетов по формуле (6) приведены на рис. 3. Анализ расчетных графиков, приведенных на рис. 3, показывает на ограничение максимального отношения сигнал-шум, который достижим за счет увеличения мощности сигнала подсветки. На отношение сигнал-шум также сильно влияет качество согласования тракта облучатель—приемник. Пользуясь соотношением (6), в каждом конкретном случае можно выбрать оптимальные параметры приемника, антенного тракта и мощности генератора подсветки, с точки зрения достижения необходимой точности измерений коэффициента отражения.

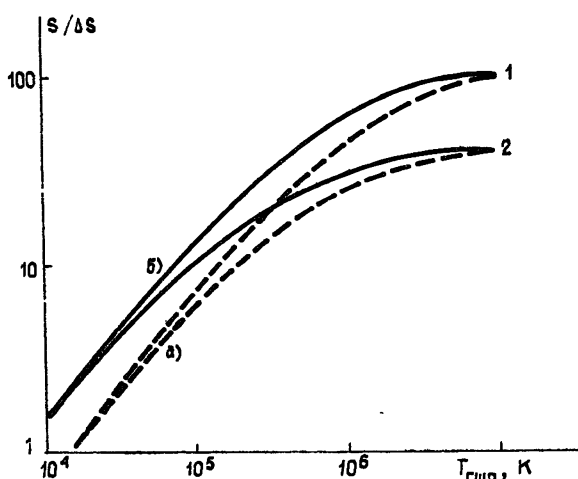


Рис. 3.

Расчетные зависимости отношения сигнал-шум от мощности ГШП при различных параметрах приемника и согласования антенного тракта:

- а) $T_{ш.увч} = 500$ К, б) $T_{ш.увч} = 250$ К, 1 — $K_{СВ_{обл}} = 1,1$,
2 — $K_{СВ_{обл}} = 1,2$ при $K_{12} = -10$ дБ, $K_{13} = -40$ дБ.

Отметим, что метод подсветки позволяет также вести настройку тракта антенна—облучатель непосредственно по минимуму отраженного сигнала в эффективной полосе приема. Экспериментальные данные по настройке тракта с использованием метода подсветки хорошо согласуются с данными измерений кпд тракта и антенны по собственным шумам атмосферы [1].

С помощью выражения (6) был определен коэффициент отражения поглощающего материала «черного» диска. Величина $R=(1\pm 0,5)\%$ согласуется с предварительными расчетными значениями [2].

Авторы благодарят Н. М. Цейтлина за большое внимание к работе, дискуссию и ряд полезных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цейтлин Н. М. Антенная техника и радиоастрономия. — М.: Сов. радио, 1976.
2. Пелюшенко С. А. Авторское свидетельство № 1107077. — Бюл. изобрет., 1984, № 29, с. 135.
3. Станкевич К. С., Иванов В. П. — Изв. вузов — Радиофизика, 1971, 14, № 12, с. 1787.
4. Дугин Н. А., Цейтлин Н. М., Мосалов И. В. и др. Препринт НИРФИ № 176. — Горький, 1984.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
22 января 1987 г.

УДК 523.164

О ВЫБОРЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПОЛНЕНИЯ ПЕРИОДА МОДУЛЯЦИИ В РАДИОМЕТРЕ

Г. Г. Айвазян, А. М. Асланян, А. Г. Гулян, Р. М. Мартиросян

Увеличение объема радиометрических исследований привело к усложнению широко используемого радиометра Дикке. Так, по тракту поляризационного радиометра с автоматической калибровкой за один период модуляции проходят четыре шумовые составляющие (горизонтальная и вертикальная поляризации измеряемого сигнала, сигналы первого и второго эталонных источников) и выделяется три разностных сигнала. Задача обеспечения оптимальной чувствительности приема разностных сигналов решается выбором коэффициента заполнения периода модуляции для каждой шумовой составляющей.

Вспользуемся наиболее естественным определением чувствительности радиометра как ошибки измерения среднего значения независимых отсчетов шумового сигнала [1]. Тогда если в тракте компенсационного радиометра некоторый шумовой сигнал измеряется с чувствительностью ΔT_k , то при его модуляции с коэффициентом заполнения периода $n < 1$ число усредняемых независимых отсчетов уменьшается в $1/n$ раз и данный шумовой сигнал регистрируется с чувствительностью $\Delta T_k/\sqrt{n}$.

Следовательно, если две составляющие T_1 и T_2 некоторого разностного сигнала T_p имеют коэффициенты заполнения соответственно n и m , то при суммарном коэффициенте заполнения периода модуляции остальными составляющими, равном k , чувствительности регистрации указанных составляющих будут определяться формулами

$$\Delta T_1 = \Delta T_k/\sqrt{n}, \quad \Delta T_2 = \Delta T_k/\sqrt{m} = \Delta T_k/\sqrt{1-k-n}. \quad (1)$$

В (1) полагаем, что чувствительность измерения обеих составляющих в тракте компенсационного радиометра равна ΔT_k .

Чувствительность разностного сигнала составляющих T_1 и T_2 определяется как погрешность косвенного измерения [2] разности случайных процессов:

$$\Delta T_p = \sqrt{\Delta T_1^2 + \Delta T_2^2} = \Delta T_k \sqrt{(1-k)/n(1-k-n)}. \quad (2)$$

Минимальное значение ΔT_p достигается при $n=(1-k)/2$, тогда $m=1-k-n=(1-k)/2$. Следовательно, оптимальная чувствительность достигается в том случае, когда составляющие разностного сигнала занимают равные длительности в отведенной для них части периода модуляции. Обобщая этот вывод для радиометра с выделением нескольких разностных сигналов, получаем, что если в тракте радиометра обрабатывается N шумовых составляющих, то период модуляции необходимо разделить на N равных частей. Этот вывод подтверждает также необходимость симметричной модуляции и для обычного радиометра Дикке при $k=0$.

Однако на практике можно оптимизировать чувствительность введением несимметрии с учетом конкретных значений чувствительности регистрации T_1 и T_2 в тракте компенсационного радиометра. Для простоты покажем это для случая $k=0$.