

УДК 523.164

ОБ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ОШИБКЕ ПРИ КАЛИБРОВКЕ АНТЕННЫ ПО МЕТОДУ «ИСКУССТВЕННОЙ ЛУНЫ»

К. С. Станкевич, В. П. Иванов

Рассмотрен интерференционный эффект, возникающий при калибровке антенны по методу «искусственной Луны»; проведена оценка величины интерференционной ошибки.

При калибровке антенны по методу «искусственной Луны» поглощающий диск устанавливается в телесном угле диаграммы направленности антенны. Если поглощающий материал имеет отличный от нуля коэффициент отражения, то излучаемые антенной шумы аппаратуры частично отражаются обратно в антенну. Интерференция отраженного сигнала с шумами входа приемника может привести к ошибкам при измерении антенной температуры радиоизлучения эталона. Похожая проблема возникла ранее при создании радиометров, не содержащих развязывающих элементов [1]. Ниже будут рассмотрены случаи, когда этот эффект необходимо принимать во внимание.

В сантиметровом и дециметровом диапазонах шумы аппаратуры, излучаемые антенной, представляют собой, как правило, шумы вентиля (модулятора) за счет его обратных потерь. Блок-схема установки для этого случая приведена на рис. 1. Обозначим шумовую температуру вентиля T_i и коэффициент отражения по напряжению от антенны α .

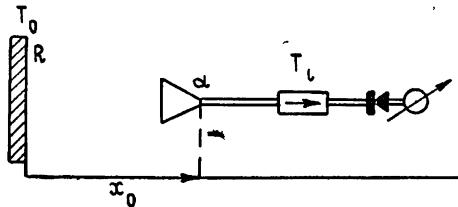


Рис. 1.

Тогда выраженная через температуру мощность шумов, которая отражается ко входу приемника, равна $\alpha^2 T_i$, а $(1 - \alpha^2) T_i$ рассеивается антенной. Пусть T_v — шумовая температура на входе радиометра за счет приема отраженного диском излучения антенны. Температура антенны в направлении калибровочного эталона, приведенная ко входу радиометра, равна

$$(T_x)_a = T_0(1 - R)(1 - \beta_d^a) + T_v \beta_d + T_r + \alpha^2 T_i + 2\Phi(\Delta\omega, x)\alpha\sqrt{T_i T_r} \cos(2kx + \psi), \quad (1)$$

где β_d^a — рассеяние антенны вне телесного угла эталона, T_v — средняя температура окружающего антенну излучения вне телесного угла диска, $\Phi(\Delta\omega, x) = \sin \frac{\Delta\omega x}{c} / \frac{\Delta\omega x}{c}$ — функция корреляции прямого и отра-

женного сигналов в прямоугольной полосе частот $\Delta\omega$, ψ — начальная фаза коэффициента отражения от эталона.

При удалении диска из диаграммы температура антенны равна

$$(T_d^\circ)_a = T_v \beta_d^a + \alpha^2 T_l \quad (2)$$

и регистрируемое приращение температуры антенны есть

$$(\Delta T)_d = T_0 (1 - R) (1 - \beta_d^a) + T_r + 2\Phi(\Delta\omega, x) \alpha \sqrt{T_l T_r} \cos(2kx_0 + \psi). \quad (3)$$

Первые два члена в (3) представляют собой хорошо известное выражение для температуры радиозлучения поглощающего диска $(\Delta T)_d^\circ$ без учета интерференционного эффекта. Поскольку $R \ll 1$, то (3) представим в виде

$$(\Delta T)_d = (\Delta T)_d^\circ \left[1 + 2\Phi(\Delta\omega, x) \alpha \frac{\sqrt{T_l T_r}}{T_0 (1 - \beta_d^a)} \cos(2kx_0 + \psi) \right]. \quad (4)$$

Заметим, что шумы вентиля, обусловленные прямыми и обратными потерями, частично когерентны, и поэтому интерференционный эффект будет иметь место даже при идеальном согласовании входа антенны. Включение циркулятора между антенной и приемником также не исключает интерференционный эффект, так как в этом случае роль отраженной от антенны составляющей выполняют шумы нагрузки, прошедшие на вход приемника из-за конечной величины обратных потерь между плечами циркулятора.

Если схема радиометра не содержит невзаимных элементов (рис. 2), то интерференция имеет место между отраженной от диска

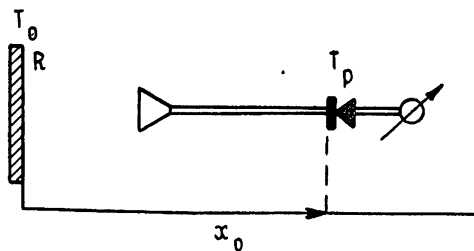


Рис. 2.

волной с амплитудой $\sqrt{T_r}$ и падающей с амплитудой $\sqrt{T_p}$, где T_p представляет собой эквивалентную шумовую температуру входных цепей приемника:

$$(\Delta T)_d = (\Delta T)_d^\circ \left[1 + 2\Phi(\Delta\omega, x) \frac{\sqrt{T_p T_r}}{T_0 (1 - \beta_d^a)} \cos(2kx_0 + \psi) \right]. \quad (4a)$$

Вычислим теперь температуру отраженного сигнала T_r . Мощность излучения, поглощаемая эталоном, равна $T_p (1 - \beta_d^a)$. Часть мощности $RT_p (1 - \beta_d^a)$ отражается в полный телесный угол в соответствии с диаграммой рассеяния эталона $F_d(\theta, \varphi)$, мощность, рассеиваемая в телесный угол Ω_a , занимаемый антенной, равна $T_p R (1 - \beta_d^a) (1 - \beta_a^a)$. Тогда температура T_r на входе приемника

$$T_r = T_p R (1 - \beta_d^a) (1 - \beta_a^a) = T_p R \frac{\int_{\Omega_a} F_d d\Omega}{\int_{4\pi} F_d d\Omega} \frac{\int_{\Omega_a} F_a d\Omega}{\int_{4\pi} F_a d\Omega}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4) и (4а), получим выражение для оценки максимальной ошибки из-за интерференционного эффекта:

$$(\Delta T)_д = (\Delta T)_д^\circ \left\{ 1 \pm 2 \Phi(\Delta\omega, x) \frac{T_I}{T_0} \alpha \sqrt{(1 - \alpha^2) R} \left[\frac{(1 - \beta_{гЛ}^a)(1 - \beta_a^a)}{1 - \beta_d^a} \right]^{1/2} \right\}; \quad (5a)$$

$$(\Delta T)_д = (\Delta T)_д^\circ \left\{ 1 + 2 \Phi(\Delta\omega, x) \frac{T_P}{T_0} \sqrt{R} \left[\frac{(1 - \beta_{гЛ}^a)(1 - \beta_a^a)}{1 - \beta_d^a} \right]^{1/2} \right\}. \quad (5б)$$

Для оценок рассмотрим пример, когда диаграмма антенны представляет собой диаграмму излучения круглого диска с диаметром D :

$$F_a(\theta) = \left[2 \frac{J_1((1/2)kD \sin \theta)}{(1/2)kD \sin \theta} \right]^2 \cos^2 \theta, \quad (6)$$

а диаграмма рассеяния эталона описывается диаграммой рассеяния диска с диаметром d [2]:

$$F_d(\theta) = \left[2 \frac{J_1(kd \sin \theta)}{kd \sin \theta} \right]^2 \cos^2 \theta. \quad (6a)$$

Проделав необходимые вычисления, получим следующее выражение для отношения факторов рассеяния, входящих в (5а) и (5б):

$$\left[\frac{(1 - \beta_{гЛ}^a)(1 - \beta_a^a)}{1 - \beta_d^a} \right]^{1/2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - J_0^2\left(\pi \frac{dD}{\lambda x}\right) - J_1^2\left(\pi \frac{dD}{\lambda x}\right)}{1 - J_0^2\left(\frac{\pi dD}{2\lambda x}\right) - J_1^2\left(\frac{\pi dD}{2\lambda x}\right)} \right]^{1/2} \times \\ \times (1 - \beta_{гЛ}^a)^{1/2} \approx 0,8 (1 - \beta_{гЛ}^a)^{1/2}. \quad (7)$$

При вычислении (7) принималось во внимание, что в волновой зоне $0 < dD/\lambda x \leq 1$ (так как $x \gg d^2/\lambda$ и $x \gg D^2/\lambda$), вследствие чего значение выражения в квадратных скобках находится в пределах $1,4 \div 1,25$.

Для оценок примем также $(1 - \beta_{гЛ}^a) = 0,7$, что обычно имеет место для параболических антенн. В этих предположениях для максимальной интерференционной ошибки имеем

$$(\Delta T)_д/(\Delta T)_д^\circ = 1 \pm \Phi(\Delta\omega, x) \frac{T_I}{T_0} \alpha \sqrt{(1 - \alpha^2) R}; \quad (8)$$

$$(\Delta T)_д/(\Delta T)_д^\circ = 1 \pm \Phi(\Delta\omega, x) \frac{T_P}{T_0} \sqrt{R}. \quad (8a)$$

Если калибровка осуществляется эталоном, находящимся при температуре окружающего воздуха, то $T_I/T_0 \sim 1$, в случае применения эталонов, охлаждаемых жидким азотом, это отношение увеличивается почти в 4 раза. Из сравнения (8) и (8а) также видно, что при использовании радиометров, не содержащих вентиляей, что характерно для волн метрового диапазона, интерференционная поправка возрастает почти на порядок. Величину ее можно существенно уменьшить за счет функции корреляции шумов $\Phi(\Delta\omega, x)$ в полосе частот $\Delta\omega$, проводя измерения на достаточно больших расстояниях $x \gg c/\Delta\omega$. Обычно измерения с калибровочными эталонами производят на расстояниях $x \sim D^2/\lambda$, поскольку на малых расстояниях легче сделать эталон, закрывающий нужный телесный угол. Для малых антенн эти два требования противоречивы, и поэтому для учета интерференционного эффекта его нужно непос-

редственно измерять, изменяя расстояние между антенной и эталоном. Для больших антенн при калибровке в ближней зоне с выносом облучателя из фокуса [3] интерференционный эффект при определенных условиях может привести к некоторой ошибке.

В заключение рассмотрим калибровку антенны с помощью эталона, угловые размеры которого намного превышают ширину главного луча антенны, иными словами, случай, когда эталон можно представить как бесконечную плоскость. Можно показать, что тогда

$$T_r = T_p R (1 - \beta_a^a) (1 - \beta_{гд}^a)^2, \quad (9)$$

где β_a^a — фактор рассеяния антенны вне телесного угла, занимаемого такой же антенной на расстоянии, равном удвоенному расстоянию антенны до эталона.

При подстановке (9) в (4) можно видеть, что интерференционная погрешность пропорциональна множителю $(1 - \beta_a^a)^{1/2}$, который при достаточном удалении антенны может быть сколь угодно малым.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Троицкий, ЖТФ, 25, № 8, 1426 (1955).
2. Распространение ультракоротких радиоволн, изд. Сов. радио, М., 1954.
3. Д. А. Дмитренко, А. И. Романючев, Н. М. Цейтлин, Радиотехника и электроника, 14, № 12, 2109 (1969).

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию
17 марта 1971 г.

AN INTERFERENCE ERROR WHEN CALIBRATING ANTENNAS BY THE „ARTIFICIAL MOON“ METHOD

K. S. Stankevich, V. P. Ivanov

The interference effect arising from calibrating the antennas by the „artificial moon“ method is considered. The interference error is estimated.