

УДК 615.471:616

ГЕНЕРАТОР ОПОРНЫХ ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ МИЛЛИМЕТРОВОЙ РАДИОМЕТРИИ

Яненко А.Ф., Перегудов С.Н.

Электромагнитное излучение крайне высокой частоты (КВЧ) широко применяется в различных областях науки, техники и медицины. В последнее время наметилась стойкая тенденция снижения мощности используемых сигналов до уровня 10^{-9} - 10^{-12} Вт [1, 2]. Кроме того, регистрируемое при помощи радиометрических систем слабое излучение физических и биологических объектов в миллиметровом (мм-) диапазоне длин волн позволяет получить о них дополнительную информацию. Для повышения достоверности таких исследований, необходимы образцовые генераторы (эталонны) электромагнитного шума.

Однако значения мощности мм-излучения исследуемых объектов и известных первичных эталонов, как правило, сильно различаются, и для их сравнения требуются дополнительные устройства, что усложняет методику измерений и снижает их точность. Разработанный генератор эталонного шума [3] сопоставим по интенсивности мм-излучения с биологическими объектами, но его инерционность и достаточно большие габариты накладывают определенные пространственно-временные ограничения при проведении исследований электромагнитных свойств объектов в мм-диапазоне. Таким образом, актуальной представляется разработка портативного, менее инерционного генератора опорных шумовых сигналов.

Принцип работы и основные параметры генератора

Отличительной особенностью тепловых генераторов-эталонных является поддержание заданной температуры рабочего тела, которая соответствует определенному уровню мощности электромагнитного излучения в том или ином частотном диапазоне. В КВЧ-диапазоне рабочим телом является поглотитель волноводной согласованной нагрузки.

Основной вклад в погрешность установления излучаемой мощности вносят система регулировки температуры нагрузки и выходной тракт, обеспечивающий передачу электромагнитных волн между объектами разной температуры. Недостаточная точность и инерционность (до единиц минут) системы регулирования температуры являются сдерживающими факторами, ограничивающими их использование в автоматизированных быстродействующих радиометрических системах [4, 5].

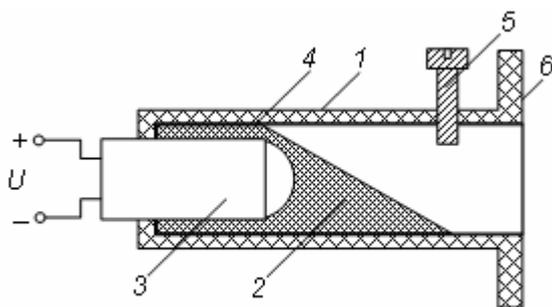


Рис. 1. Структурная схема генератора опорных сигналов

Авторами данной работы разработан и исследован тепловой генератор шумовых сигналов (рис. 1), состоящий из волноводной согласованной нагрузки 1, содержащей поглотитель (рабочее тело) 2. Нагревание его осуществляется при помощи инфракрасного (ИК-) излучения светодиода 3 (ЗЛ107Б или аналог). Температура в этом случае определяется

рабочим током диода, изменяющимся от 30 до 200 мА. Для обеспечения теплоизоляции рабочего тела применяется волновод из пластмассы с нанесенным внутри тонким слоем металла 4. Винт настройки 5 предназначен для согласования генератора с волноводным трактом радиометрической системы. В результате на выходе 6 генератора имеем заданный уровень мощности электромагнитного излучения.

Уравнения баланса мощностей в режиме термодинамического равновесия можно записать следующим образом

$$P_0 = P_{rad} + P_{cond}, \quad (1)$$

где P_0 – мощность излучения светодиода 3, рассеиваемая в рабочем теле 2, P_{rad} – мощность излучения рабочего тела в волноводный тракт; P_{cond} – тепловая мощность, рассеиваемая в корпусе 1.

Величина P_0 определяется коэффициентом серости материала рабочего тела β и мощностью ИК-излучения диода P_{IR} , зависящей от его тока.

$$P_0 = \beta P_{IR}(I), \quad (2)$$

Значение P_{cond} можно найти из уравнения Фурье для изотермической поверхности теплоизолирующего слоя с коэффициентом теплопроводности λ и градиентом температуры ∇T

$$P_{cond} = \lambda_0 \nabla T S_0, \quad (3)$$

где S_0 – общая поверхность контакта рабочего тела с волноводом.

В результате из уравнений (1-3) получаем

$$P_{rad} = \beta P_{IR}(I) - \lambda_0 \nabla T S_0, \quad (4)$$

С другой стороны согласно закону Стефана-Больцмана

$$P_{rad} = \sigma (T_1^4 - T_0^4) S, \quad (5)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана; T_1 – температура рабочего тела; T_0 – температура окружающей среды; S – площадь излучающей поверхности.

Учитывая, что в данном генераторе T_1 и T_0 отличаются незначительно, их разность можно определить из (3) и (4) следующим образом

$$T_1 - T_0 \approx \frac{1}{4\sigma T_0^3 S} [\beta P_{IR}(t) - \lambda_0 \nabla T S_0]. \quad (6)$$

Для одномодового режима прямоугольного волновода с типом колебаний H_{10} с учетом (6) можно получить выражение для спектральной плотности мощности шума рассматриваемого генератора

$$p = A(T_0, \beta) P_{IR}(t) - B(T_0, \lambda) \nabla T \frac{S_0}{S}, \quad (7)$$

где $A(T_0, \beta)$ и $B(T_0, \lambda)$ – некоторые функции, зависящие от температуры окружающей среды и тепловых свойств рабочего тела и корпуса волновода, которые можно определить из уравнения (6).

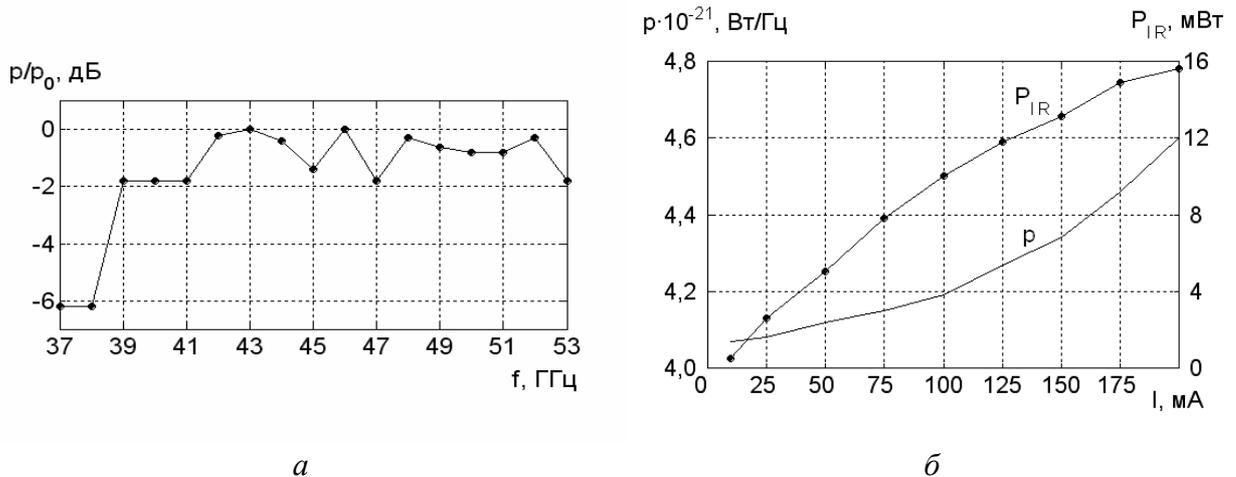


Рис.2. Амплитудно-частотная (а) и регулировочная (б) характеристики генератора

Как следует из приведенного уравнения для увеличения динамического диапазона регулирования мощности предлагаемого генератора необходимо уменьшать соотношение поверхностей S_0/S и градиент температуры в теплоизолирующем корпусе устройства. На рис. 2 приведены амплитудно-частотная характеристика (а) и зависимость спектральной плотности мощности излучения p от тока диода для частоты 52 ГГц (б). Там же показана зависимость P_{IR} от тока I .

По оси ординат рис. 2а отложены относительные значения мощности генератора [3] (погрешность установки которой не превышает $\pm 0,4\%$).

Предложенный генератор является малогабаритным устройством и обладает меньшей инерционностью, чем аналоги. Его выходная мощность генератора имеет неравномерность не более ± 1 дБ в диапазоне частот от 41 до 54 ГГц и практически линейно зависит от тока диода, что повышает достоверность измерений, и дает возможность применять данный генератор в автоматизированных радиометрических системах. При неавтоматизированных измерениях можно добиться меньшей неравномерности характеристики (рис. 2а) при помощи настроечного

винта 6 (рис. 1). Генератор может применяться и как устройство для измерения собственного излучения твердых тел, в котором в качестве нагрузки 4 (рис. 1) используются исследуемые образцы.

Литература

1. Скрипник Ю. А., Яненко А. Ф., Манойлов В. Ф., Куценко В. П., Гимпилевич Ю. Б. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов. – Житомир: Волянь, 2003. – 406 с.
2. Ситько С. П., Скрипник Ю. А., Яненко А. Ф. Аппаратное обеспечение современных технологий квантовой медицины. – Киев: ФАДА ЛТД, 1999. – 200 с.
3. Skripnik Yu., Krasuk A., Manoylov V., Peregudov S., Yanenko A. Increased accuracy of measurement of high-sensitivity mm-range radiometric equipment intended for medical-biological application.//Proceedings of 10th IMEKO TC7 International Symposium June 30–July 2, 2004, Saint-Petersburg, Russia, – P. 143–148.
4. Красюк А.Д., Перегудов С.Н., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. Автоматизированная установка мм-диапазона для биомедицинских приложений // Вісник Технологічного університету "Поділля". Технічні науки. – 2004, № 2. – Т. 1, частина 1. – С. 176-180.
5. Перегудов С.Н., Яненко А.Ф. Радиометрическая установка с автоматической регулировкой выходной мощности генератора эталонного шума // Вісник Хмельницького Національного університету. – 2005, № 4. – Т. 1, частина 1, – С. 131-134.

Яненко О.П., Перегудов С.М. Генератор опорних шумових сигналів для міліметрової радіометрії Розглядається тепловий хвилевідний генератор стохастичних сигналів, в якому необхідна температура робочого тіла підтримується за допомогою джерела інфрачервоного випромінювання.

Ключові слова: генератор, хвилевід, інфрачервоне випромінювання, міліметровий діапазон хвиль

Яненко О.П., Перегудов С.М. Генератор опорних шумових сигналів для міліметрової радіометрії Рассматривается тепловой генератор шума, в котором температура рабочего тела поддерживается при помощи источника инфракрасного излучения.

Ключевые слова: генератор, волновод, инфракрасное излучение, миллиметровый диапазон волн.

Yanenko A. F., Peregudov S.N. Reference noise generator for millimetric radiometry The thermal waveguide generator of noise signals, in which the temperature of source is supported through the infra-red diode radiation, is considered.

Key words: generator wave guide, infrared rays, millimetric band