

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].

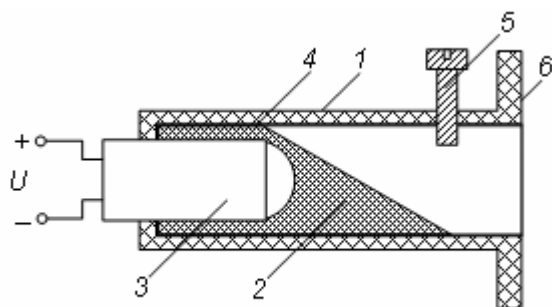


Рис. 1. Структурная схема генератора опорных сигналов

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  $\beta$  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  $\lambda$  и градиентом температуры  $\nabla T$

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

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/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) – 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).

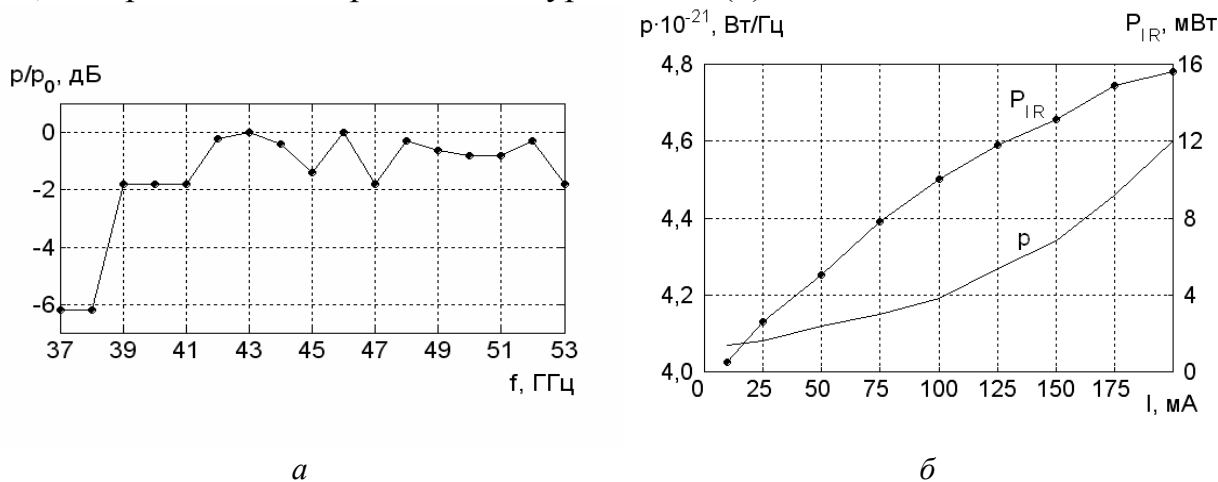


Рис.2. Амплитудно-частотная (а) и регулировочная (б) характеристики генератора

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  $\pm 1$  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