

зоне частот от 300 МГц до 39,65 ГГц со средним квадратическим отклонением результатов измерений $(0,1-1,3) \cdot 10^{-2}$ при числе измерений $n = 5$ и неисключенной систематической погрешностью $\pm(4,0-6,7) \cdot 10^{-2}$. Доверительные границы суммарной погрешности воспроизведения единицы ППЭ электромагнитного поля эталоном в зависимости от диапазона частот оспроизводимой единицы составляют $\pm(4,0-7,8) \cdot 10^{-2}$ при доверительной вероятности $p=0,95$. Среднее квадратическое отклонение суммы неисключенных систематических и случайных погрешностей метода передачи размера единицы составляет $(1,8-5,5) \cdot 10^{-2}$. Расширенная неопределенность измерений при воспроизведении единицы ППЭ электромагнитного поля эталоном составляет $(4,2-7,5) \cdot 10^{-2}$ [6].

Литература

1. Вольнец, А. С. Национальный эталон единицы плотности потока энергии электромагнитного поля / А. С. Вольнец // Метрология и приборостроение. – 2016. – № 2. – С. 10–19.

2. Вольнец, А. С. Калибровка антенн с круговой поляризацией с использованием линейно поляризованных эталонных антенн / А. С. Вольнец, А. В. Гусинский // Метрология и приборостроение. – 2015. – № 1. – С. 18–22.

3. Вольнец, А. С. Повышение точностных характеристик национального эталона единицы плотности потока энергии электромагнитного поля за счет уменьшения погрешности из-за рассогласования в сверхвысокочастотном измерительном тракте / А. С. Вольнец, А. В. Гусинский, А. М. Кострикин // Метрология и приборостроение. – 2017. – № 1. – С. 17–24.

4. Вольнец, А. С. Определение эффективной площади эталонных антенн национального эталона единицы плотности потока энергии электромагнитного поля методом трех антенн / А. С. Вольнец // Метрология и приборостроение. – 2018. – № 3. – С. 3–9.

5. Вольнец, А. С. Реализация метода КСВн при определении коэффициента беззховости экранированной беззховой камеры / А.С. Вольнец // Метрология и приборостроение. – 2019. – № 1. – С. 18–24.

6. Вольнец, А. С. Совершенствование национального эталона единицы плотности потока энергии электромагнитного поля / А. С. Вольнец // Метрология и приборостроение. – 2020. – № 2. – С. 10–19.

УДК 531.383

ВОЛНОВОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ГИРОСКОП С ПОЗИЦИОННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ

Матвеев В.В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Аннотация. Рассматривается волнового твердотельного гироскопа с металлическим резонатором при позиционном возбуждении стоячей волны. Теоретически и экспериментально доказана нелинейная зависимость амплитуд колебаний пучности и узла от угловой скорости основания. Предложен способ формирования выходного сигнала гироскопа прямого измерения, позволяющий расширить линейную зону рабочей характеристики. Приведена структурная схема гироскопа для огибающих амплитуд колебаний пучности и узла стоячей волны.

Ключевые слова: волновой твердотельный гироскоп, стоячая волна, структурная схема.

CORIOLIS VIBRATION GYROSCOPE WITH POSITIONAL EXCITATION OF A STANDING WAVE

Matveev V.

FSBEI HE "Tula State University"
Tula, Russia

Abstract. A Coriolis vibrating gyroscope with a metal resonator under positional excitation of a standing wave is considered. The nonlinear dependence of the amplitudes of the oscillations of the antinode and the node on the angular velocity of the base has been theoretically and experimentally proved. A method for generating the output signal of a direct measurement gyroscope is proposed, which makes it possible to expand the linear zone of the operating characteristic. The block diagram of the gyroscope for the envelopes of the amplitudes of the oscillations of the antinode and the node of the standing wave is presented.

Key words: Coriolis vibrating gyroscope, standing wave, structural diagram.

Адрес для переписки: Матвеев В.В., пр. Ленина, 92, г. Тула 300012, Российская Федерация
e-mail: matweew.valery@yandex.ru

Математическая модель ВТГ. В волновом твердотельном гироскопе (ВТГ) с позиционным возбуждением для обнаружения угловой скорости основания используется свойство инерции

стоячей волны, возбуждаемой в резонаторе (рис. 1). Точки резонатора с максимальной амплитудой радиальных колебаний называются пучностями (*antinode*), а с минимальным – узла-

ми (*node*). При вращении основания с угловой скоростью Ω возникают колебания узлов, амплитуда которых пропорциональна Ω .

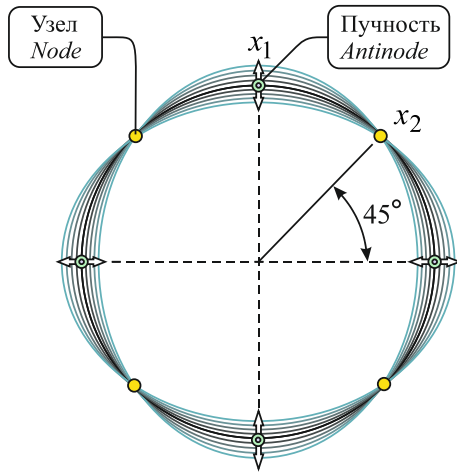


Рисунок 1 – Стоячая волна в резонаторе

Математическая модель ВТГ, описывающая колебания пучности и узла, сводится к системе двух обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, предложенных докт. Д. Линчем (*D. Lynch*) [1]:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_1 + 2\xi\omega_1\dot{x}_1 + (\omega_1^2 - \Omega^2)x_1 &= f_0 \sin \nu t + 2K\Omega\dot{x}_2, \\ \ddot{x}_2 + 2\xi\omega_2\dot{x}_2 + (\omega_2^2 - \Omega^2)x_2 &= -2K\Omega\dot{x}_1, \end{aligned} \right\} (1)$$

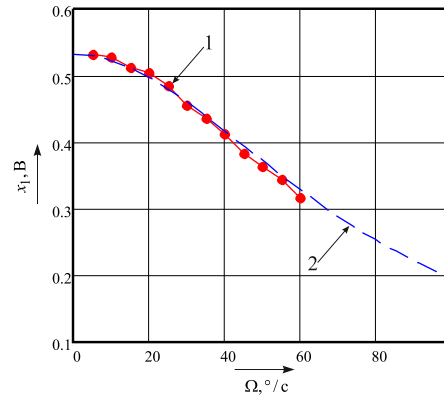
где x_1, x_2 ; ω_1, ω_2 – радиальные перемещения пучности и узла и собственные частоты резонатора соответственно; ξ – относительный коэффициент демпфирования; Ω – угловая скорость основания; K – коэффициенты Брайана; f_0, ν – амплитуда и частота, ускорения кромки резонатора, придаваемая системой возбуждения.

Анализ характеристик ВТГ. Установившиеся амплитуды колебаний пучности и узла, полученные на основании системы уравнений (1) в резонансном режиме ($\omega_1 = \omega_2 = \nu$) имеют вид

$$x_{10}^{уст} = \frac{Tf_0}{2\nu(1+n\Omega^2)}, x_{20}^{уст} = \frac{T^2Kf_0}{2\nu} \frac{\Omega}{1+n\Omega^2}, (2)$$

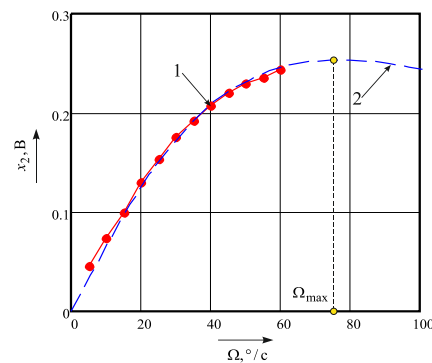
где $T = 2Q/\nu$ – постоянная времени резонатора ($Q = 1/(2\xi)$ – добротность), $n = K^2T^2$.

Из решений (2) следует, что колебания пучности и узла имеют нелинейную зависимость от угловой скорости основания. Степень нелинейности определяется значением коэффициента n . На рис. 2, 3 приведены экспериментальные и теоретические зависимости амплитуд колебаний пучности и узла ВТГ от угловой скорости основания, иллюстрирующие нелинейную зависимость. Из рис. 2 также следует, что амплитуда узла возрастает с увеличением угловой скорости до значения Ω_{max} , а затем начинает снижаться.



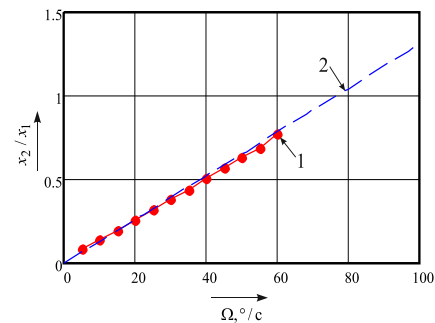
1 – эксперимент, 2 – теория

Рисунок 2 – Зависимость амплитуды пучности от угловой скорости основания



1 – эксперимент, 2 – теория

Рисунок 3 – Зависимость амплитуды узла от угловой скорости основания:



1 – эксперимент, 2 – теория

Рисунок 4 – Экспериментальная зависимость отношения амплитуд узла к амплитуде пучности ВТГ с металлическим резонатором от угловой скорости

Максимум амплитуды вторичных колебаний достигается при угловой скорости

$$\Omega_{max} = \frac{1}{TK} = \frac{\nu}{2QK}. (3)$$

Для постоянной времени резонатора ВТГ $T = 1,8$ с и коэффициенте Брайна $K = 0,4$ максимум амплитуды узла будет достигаться при угловой скорости основания ≈ 76 °/с, что свидетельствует из анализа рис. 3.

Для расширения линейности характеристики ВТГ прямого измерения, необходимо формировать сигнал об измеряемой угловой скорости, как отношение амплитуды узла к амплитуде пучности:

$$\frac{x_{20}^{уст}}{x_{10}^{уст}} = TK\Omega. \quad (4)$$

Отношение амплитуд линейно зависит от угловой скорости основания, что подтверждается результатами экспериментов на рис. 4.

Структурная схема ВТГ. На рис. 5 приведена структурная схема ВТГ прямого измерения по огибающим амплитуд колебаний пучности и узла.

Структурная схема соответствует случаю постоянной угловой скорости основания и резонансной настройке контуров пучности (узла) и позволяет моделировать ВТГ без учета высокочастотной несущей колебаний резонатора [2]. Кроме того, схема позволяет исследовать ВТГ в компенсационном режиме путем формирования соответствующих обратных связей и включения в цепи корректирующих звеньев.

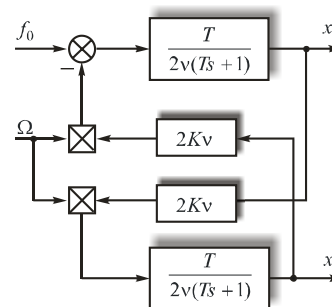


Рисунок 5 – Структурная схема КВГ для огибающих колебаний резонатора

Литература

1. Lynch, D. D. Coriolis vibratory gyroscope. IEEE standard specification format guide and test procedure for Coriolis vibratory gyros / D. D. Lynch, IEEE std.1431 annex B. – P. 56–66.

2. Информационные характеристики микромеханических гироскопов на основе кремниевой технологии микроэлектромеханических систем / Л. А. Северов, [и др.] // Изв. вузов «Приборостроение» – 2011. – № 8. – С. 12–22.

УДК 519.7

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРИБОРОСТРОЕНИЮ

Лебедев А.Н.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация*

Аннотация. Предложены новые методы решения трех главных задач в области защиты информации как при ее передаче по каналам связи, в частности, через интернет, так и при ее хранении на носителях и в процессе обработки на процессорах вычислительных и управляющих устройств. Это, во-первых, задача построения стойких и эффективных алгоритмов защитного кодирования данных, во-вторых, задача построения стойких и практически реализуемых алгоритмов выработки общего секрета (ключа) парой удаленных пользователей сети при помощи обмена только открытыми сообщениями и, в-третьих, задача надежной цифровой аутентификации передаваемых сообщений и хранимой информации.
Ключевые слова: защитное кодирование данных, обобщенный протокол Диффи-Хеллмана, цифровая аутентификация, легковесные алгоритмы, массовые микроконтроллеры общего назначения.

CONTEMPORARY INFORMATION SECURITY TECHNOLOGIES TO INSTRUMENT ENGINEERING

Lebedev A.

*Bauman State Technical University
Moscow, Russia*

Abstract. New methods of solving three main tasks in the field of information security are proposed, both when it is transmitted via public communication channels, in particular, via the Internet, and when it is stored on various types of media and directly during processing on processors of modern computing and control devices. This is, firstly, the task of building persistent and effective algorithms for data security encoding, secondly, the task of building persistent and practically implementable algorithms for generating a common secret (key) by a pair of remote network users using the exchange of only open messages, and, thirdly, the task of reliable digital authentication of transmitted messages and stored information. We have proposed some new one way functions for generalization of the Diffie-Hellman protocol.

Key words: security data encoding, generalized Diffie-Hellman protocol, digital authentication, lightweight algorithms, general-purpose mass microcontrollers.

*Адрес для переписки: Лебедев А.Н., 2-я Бауманская ул. 5, стр 1, г. Москва 105005, Российская Федерация
lebedevan@bmstu.ru*