

УДК 531.383

И. А. Вихляев, магистрант

E-mail: ivanvih@mail.ru

К. В. Шишаков, д-р техн. наук, доц.

E-mail: shishakovkv@mail.ru

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Обработка сигналов твердотельного волнового гироскопа с постоянной частотой дискретизации

Проведены эксперименты по обработке сигналов с частотой, не кратной частоте колебаний резонатора. Проанализированы полученные результаты. Сделаны выводы о применимости такого способа для изделий с малым временем включения. Сделаны выводы о необходимых дополнениях в вычислительном устройстве для улучшения показателей и применения для систем с более высокой точностью.

Ключевые слова: твердотельный волновой гироскоп, постоянная частота дискретизации, обработка сигналов, дрейф, шум.

Введение

На сегодняшний день твердотельный волновой гироскоп (ТВГ) является важным направлением в построении гироскопических систем [1]. Работа ТВГ основана на силах Кориолиса в колеблющейся полусферической оболочке. При вращении основания вокруг оси симметрии возбужденная в резонаторе стоячая волна начинает поворачиваться относительно резонатора и относительно инерциального пространства. Тогда, зная угол поворота стоячей волны относительно резонатора, можно найти угол поворота основания.

Конструктивно ТВГ состоит из чувствительного элемента, системы возбуждения колебаний и системы съема информации, а также устройства обработки сигналов.

Система съема информации о колебаниях резонатора состоит из набора информационных электродов, с которых на блок входных усилителей поступает сигнал. Противолежащие электроды соединены попарно, ортогональные пары информационных электродов подключены к прямому и инвертирующему входам суммирующего усилителя одного канала блока входных усилителей [2]. В результате имеем два ортогональных канала измерения углового положения стоячей волны, один из которых формирует сигнал пропорциональный косинусу двойного угла

ориентации стоячей волны, а второй – синусу двойного угла [3]. При этом частота изменения сигналов привязана к частоте колебаний резонатора.

Целью работы является рассмотрение обработки сигналов ТВГ с постоянной частотой дискретизации.

Основная часть

Когда частота напряжения на резонаторе кратна основной частоте колебаний с коэффициентом k , тогда сигналы синусного и косинусного каналов будут описываться следующими выражениями [3]:

$$U_c(t) = [A \cos \theta \sin(\omega t + \tau) + B \sin \theta \cos(\omega t + \tau)] \cos(k\omega t + \psi) + k[A \cos \theta \cos(\omega t + \tau) - B \sin \theta \sin(\omega t + \tau)] \sin(k\omega t + \psi),$$

$$U_s(t) = [A \sin \theta \sin(\omega t + \tau) - B \cos \theta \cos(\omega t + \tau)] \cos(k\omega t + \psi) + k[A \sin \theta \cos(\omega t + \tau) - B \cos \theta \sin(\omega t + \tau)] \sin(k\omega t + \psi),$$

где A и B – амплитуды основных и квадратурных колебаний; θ – угловая ориентация волны; ω – основная частота колебаний резонатора; τ – временная фаза колебаний; ψ – фаза.

Генератор, управляемый напряжением (ГУН), генерирует сигнал, поступающий на делитель частоты. Из него выделяется частота, поступающая на вход тактирования аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для оцифровки сигнала, и несущая частота для поддержания колебаний резонатора (рис. 1). Все частоты кратны частоте колебаний резонатора.



Рис. 1. Структурная схема обработки сигналов ТВГ

Частота дискретизации АЦП настроена так, что происходит оцифровка одного колебания резонатора. На основании полученной информации вычислительное устройство оценивает параметры колебаний ре-

зонатора, в том числе и частоту, и отправляет на ГУН сигнал рассогласования $\tau_2 = 2\tau$ (на рис. 1 – управляющий сигнал), рассчитанный по следующей формуле [3]:

$$\tau_2 = \arctg(Dfs / Dfc),$$

где Dfs , Dfc – сигналы синусного и косинусного каналов.

Эксперимент

Эксперимент заключался в изменении несущей частоты. Это изменяло частоту напряжения на резонаторе и частоту оцифровки сигнала АЦП. Изменение частоты привело к тому, что оцифровывалось больше одного периода колебаний резонатора либо меньше.

Также контур поддержания амплитуды не мог корректно поддерживать амплитуду колебаний, что приводило к их затуханию и дополнительным шумам. Поэтому были проведены эксперименты как с включенным контуром поддержания амплитуды, так и без него.

Изменение частоты относительно частоты колебаний резонатора составило примерно ± 60 Гц.

Схема приобрела вид, изображенный на рис. 2.

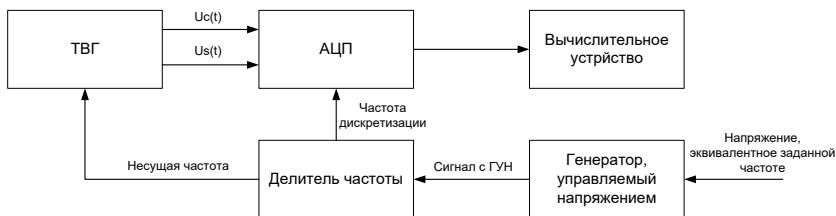


Рис. 2. Структурная схема обработки сигналов ТВГ на заданной частоте

Методика измерений заключалась в том, что происходило возбуждение чувствительного элемента до определенной амплитуды колебаний. Затем на специальном стенде вращения происходило его вращение для измерения шума и дрейфа в различных угловых положениях, пока амплитуда не упадет до малых значений, когда оценить параметры не удалось.

Результаты эксперимента

Оценивались параметры шума и дрейфа электрического угла. Эти параметры являются важными, поскольку в дальнейшем на основании электрического угла оцениваются остальные точностные параметры [4].

В ходе эксперимента сначала были получены данные для системы, работающей в нормальном режиме, т. е. когда частота напряжения на резонаторе совпала с частотой колебаний резонатора (рис. 3).

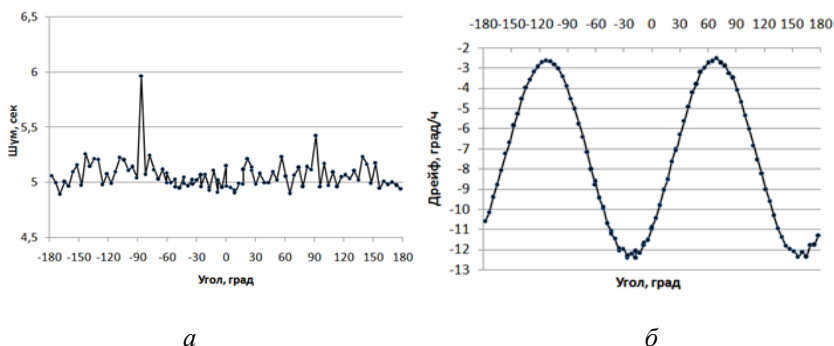


Рис. 3. Параметры ТВГ в обычном режиме работы: шум электрического угла (а); дрейф (б)

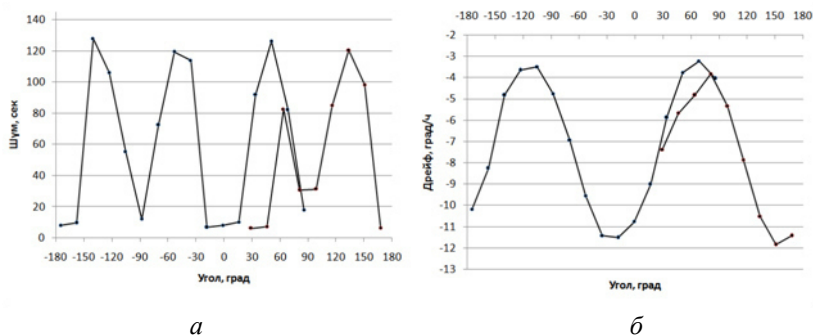


Рис. 4. Параметры ТВГ с частотой меньшей резонансной и включенным контуром поддержания амплитуды: шум электрического угла (а); дрейф (б)

На рис. 4 и 5 изображены шум и дрейф электрического угла для системы, когда частота соответственно меньше и больше частоты колебаний и контур поддержания амплитуды включен.

На рис. 6 и 7 изображены шум и дрейф электрического угла для системы, когда частота соответственно меньше и больше частоты колебаний и контур поддержания амплитуды выключен.

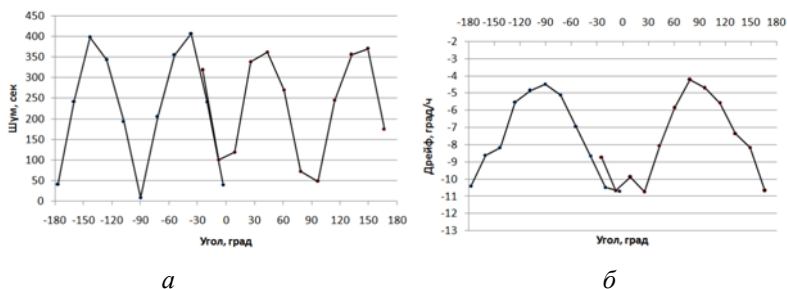


Рис. 5. Параметры ТВГ с частотой большей резонансной и включенным контуром поддержания амплитуды: шум электрического угла (а); дрейф (б)

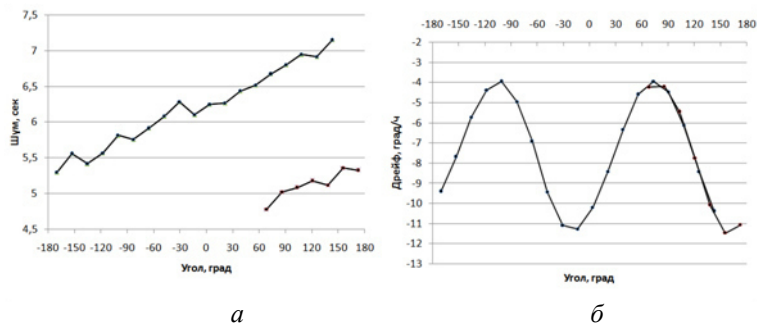


Рис. 6. Параметры ТВГ с частотой меньшей резонансной и выключенным контуром поддержания амплитуды: шум электрического угла (а); дрейф (б)

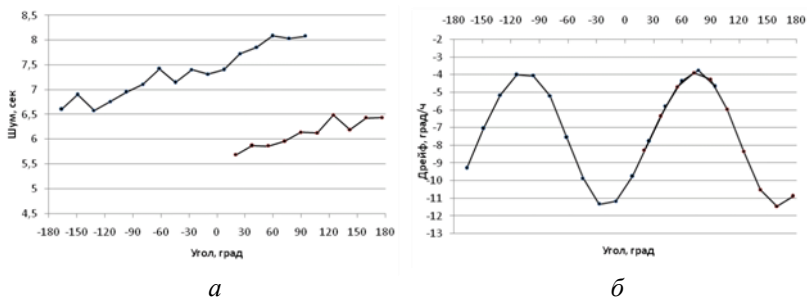


Рис. 7. Параметры ТВГ с частотой большей резонансной и выключенным контуром поддержания амплитуды: шум электрического угла (а); дрейф (б)

Выводы

На основании приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

1) при изменении частоты напряжения на резонаторе с выключенным контуром управления поддержания амплитуды резкого увеличения уровня шума и дрейфа электрического угла не происходит. Шум возрастает по мере затухания колебаний, из-за изменения отношения сигнал/шум. Форма и амплитуда дрейфа не претерпевают серьезных изменений;

2) при изменении частоты напряжения на резонаторе с включенным контуром управления поддержания амплитуды происходит резкое увеличение уровня шума электрического угла. При этом форма и амплитуда дрейфа не претерпевают серьезных изменений;

3) для изделий с малым временем работы и при отсутствии необходимости в высокой точности возможно использование ТВГ без контура управления частотой и контура поддержания амплитуды.

Уменьшить влияние сдвига частоты возможно, применив в вычислителе более сложный математический аппарат при обработке результатов измерений [1, 3].

Список литературы

1. *Шишаков, К. В.* Твердотельные волновые гироскопы: волновые процессы, управление, системная интеграция / К. В. Шишаков. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. – 264 с.
2. Волновые твердотельные гироскопы (аналитический обзор) / А. И. Волчихин, Д. М. Малютин, В. В. Матвеев и др. // Известия ТулГУ. – Технические науки. – 2017. – № 9–2.
3. *Трутнев, Г. А.* Система съема и способы измерения колебаний резонатора твердотельного волнового гироскопа / Г. А. Трутнев, К. К. Перевозчиков, С. Б. Назаров // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2020. – № 1 (130). – С. 50–63. – DOI: [10.18698/0236-3933-2020-1-50-63](https://doi.org/10.18698/0236-3933-2020-1-50-63).
4. Компенсация дрейфа твердотельного волнового гироскопа / Г. А. Трутнев, С. Б. Назаров, К. К. Перевозчиков, А. В. Щенятский // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 198–204.

I. A. Vikhlyaev, master student

E-mail: ivanvih@mail.ru

K. V. Shishakov, DSc in engineering, associate professor

E-mail: shishakovkv@mail.ru

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Signal Processing of a Hemispherical Resonator Gyroscope with a Constant Sampling Rate

Experiments were conducted on signal processing with a frequency not a multiple of the resonator oscillation frequency. This results are analyzed. Conclusions are drawn on the applicability of such methods for products with a short on-time. Conclusions are made about the necessary additions.

Keywords: hemispherical resonator gyroscope, constant sampling rate, signal processing, drift, noise.