

УДК 528.526.6

doi:10.18720/SPBPU/2/id23-441

Мсукар Сухайр^{1,2},

магистрант Высшей школы киберфизических систем и управления,
Институт компьютерных наук и технологий,

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия,

²Высший институт прикладных наук и технологий,
Дамаск, Сирия
souhair.msokar@gmail.com

Камаль-Эддин Хани,

ассистент Кафедры электромеханического машиностроения,
Высший институт прикладных наук и технологий,
Дамаск, Сирия

kamalhani84@gmail.com

ОДНООСНЫЙ ГИРОСТАБИЛИЗАТОР НА МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ФУНКЦИЕЙ ИМИТАЦИИ ВНЕШНЕГО МОМЕНТА ВОЗМУЩЕНИЯ

Аннотация. В статье исследованы характеристики одноосного гиростабилизатора на основе микроэлектромеханической системы (МЭМС) чувствительных элементов. Решена задача устойчивости платформы при внешних воздействиях. Создана математическая модель маховичного индикаторного гиростабилизатора, на основе которой построена структурная схема такого гиростабилизатора. В процессе наблюдения за поведением системы стабилизации при внешнем возмущающем моменте было обнаружено, что данные чувствительные элементы можно использовать в системах, где требования к точности не очень высоки, что делает их полезными в системах крепления оптических устройств.

Ключевые слова: индикаторный гиростабилизатор, МЭМС гироскоп, маховик.

Msoakar Souhair^{1,2},
master's student of the Higher School of Cyber-Physical Systems and Control,
Institute of Computer Science and Technology,
¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia,
²Higher Institute for Applied Science and Technology,
Damascus, Syria
souhair.msokar@gmail.com

Kamal Eddin Hani,
teaching assistant of Department of Electromechanical Engineering
Higher Institute of Applied Sciences and Technologies,
Damascus, Syria
kamalhani84@gmail.com

**SINGLE-AXIS GYRO-STABILIZED PLATFORM USING
MEMS INERTIAL SENSORS WITH THE ABILITY TO
IMITATE EXTERIOR DISTURBANCE MOMENTUM**

Abstract. The article presents a single-axis gyrostabilizer based on microelectromechanical (MEMS) sensors and studying the stability of this platform under the moment of external disturbance. A mathematical model of a flywheel indicator gyrostabilizer was built, based on which a structural diagram of such a gyrostabilizer was constructed. By observing the behavior of the stabilization system under the external moment of disturbance, we have found that these sensors can be used in systems where accuracy requirements are not very high, and this makes them useful in mounting systems for optical devices.

Key words: indicator gyrostabilizer, MEMS gyroscope, flywheel.

В настоящее время гиросtabilизаторы нашли широкое применение в науке и технике. Они применяются как непосредственно для стабилизации устройств на подвижных объектах, так и в оптических устройствах.

Устройство, представленное в исследовании, имеет платформу, на которой установлен объект стабилизации. Ось вращения платформы является осью стабилизации и ее положение по оси стабилизации измеряется чувствительным элементом, роль которого выполняет МЭМС гироскоп. Он расположен на платформе так, что одна из его осей чувствительности параллельна оси стабилизации. Момент стабилизации создаётся автоматической системой стабилизации и прикладывается к платформе с помощью двигателей (рис. 1) [1].

Основные задачи исследования:

- Изучить различные системы гироскопических стабилизаторов.
- Проанализировать характеристики чувствительных элементов МЭМС (количество осей чувствительности, выходные сигналы, диапазон чувствительности, спектральная плотность шума, скорость выходных данных).
- Спроектировать структурную схему гиросtabilизатора.
- Разработать кинематическую, физическую и электрическую схемы гиросtabilизатора.
- Рассчитать устойчивость и синтез регулятора.
- Смоделировать внешний возмущающий момент.
- Проанализировать результаты, полученные в процессе исследования.
- Составить выводы и рекомендации.

Система состоит из трех каналов: канал стабилизации, канал разгрузки и канал имитации. В качестве чувствительных элементов были использованы два типа гироскопов: один из них – двухосный (L2G2IS), а второй – трехосный (MPU6000). Они отличаются друг от друга по точности. Для того чтобы сравнить технические характеристики гироскопов, была стабилизирована платформа первым гироскопом и использован второй гироскоп для измерения или наоборот. В канале стабилизации гироскопом измеряется абсолютная угловая скорость платформы для приложения соответствующего стабилизирующего момента. С помощью канала имитации можно смоделировать внешний возмущающий момент [2]. Гиросtabilизатор расположен на неподвижном основании, поэтому датчик момента должен имитировать внешнее гармоническое и случайное воздействие в частотном диапазоне 1 – 100 Гц.

Для обеспечения работоспособности вращения стабилизатора используется канал разгрузки. С помощью этого канала к платформе прикладывается момент приводом разгрузки, установленного на корпусе и работающего по сигналам относительной угловой скорости маховика, которая в свою очередь регистрируется специальной системой измерения скорости [3]. На рисунке 1 показана функциональная схема гиросtabilизатора.

Использовались следующие методы исследования:

- Математическое моделирование работы гиросtabilизатора.
- Экспериментальное исследование и измерение абсолютной угловой скорости вращения платформы и расчет момента, необходимого для приложения к двигателю при наличии внешнего возмущающего момента.

Построена математическая модель работы маховика:

$$J_{\Pi} s \Omega_{\Pi} + D_{\Pi} \Omega_{\Pi} + K_1 W(s) \Omega_{\Pi} + (K_2 - D_M) \Lambda = M_{\Pi}^{BH} + M_{\Pi}^{MMH}$$

$$[J_M s + D_M] \Lambda - K_1 W(s) \Omega_{\Pi} = 0 \quad (1)$$

где: $\Omega_{\Pi} = s \alpha_{\Pi}$, $\Lambda = s \beta$ – это осевой момент инерции платформы, J_{Π} – осевой момент инерции маховика, J_M – коэффициент демпфирования платформы, D_M – коэффициент демпфирования маховика, K_1 – коэффициент усиления канала стабилизации, K_2 – коэффициент

усиления канала разгрузки, β – абсолютный угол поворота платформы, α_{Π} – абсолютный угол поворота маховика, W – передаточная функция регулятора канала стабилизации, M_{Π}^{BH} – амплитуда внешнего момента платформы, $M_{\Pi}^{ИМИ}$ – амплитуда имитационного момента платформы, M_M^{BH} – амплитуда внешнего момента маховика [4].

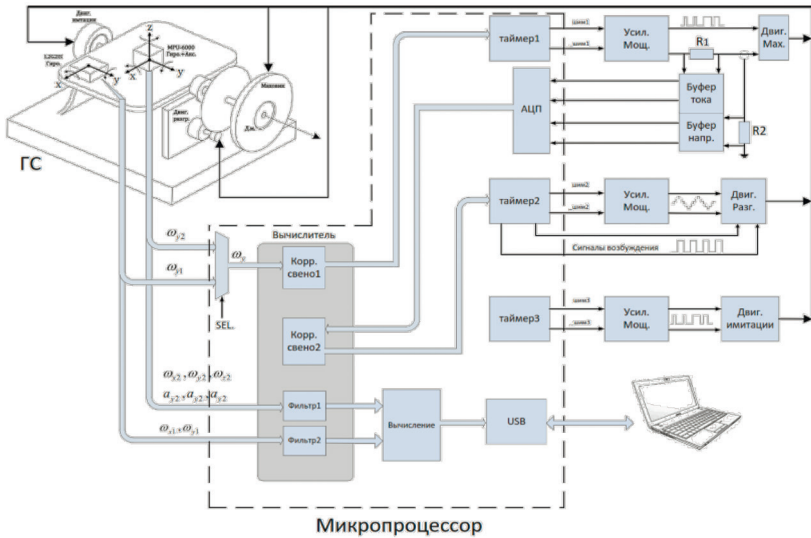


Рис. 1. Функционально-кинематическая схема ГС

Поскольку гироскопы измеряют скорость вращения платформы, а не её угол отклонения представим уравнени движения в следующем виде [1]:

$$J_{\Pi} s \Omega_{\Pi} + D_{\Pi} \Omega_{\Pi} + K_1 W(s) \Omega_{\Pi} + (K_2 - D_M) \Lambda = M_{\Pi}^{BH} + M_{\Pi}^{ИМИ}$$

$$[J_M s + D_M] \Lambda - K_1 W(s) \Omega_{\Pi} = 0 \quad (2)$$

где: $\Omega_{\Pi} = s \alpha_{\Pi}$, $\Lambda = s \beta$.

Моделирование внешнего возмущающего момента было выполнено в математическом пакете MATLAB. Входным сигналом является внешний возмущающий момент, который является гар-

моническим сигналом в диапазоне частот $f \in \{20, 50, 65, 80, 100, 250, 400\}$ Гц, а выходным сигналом является стабилизирующий момент, который должен быть приложен к стабилизирующим двигателям. Полученные результаты, представленные на рисунках 2–4.

Из рисунка 2 видно, что в диапазоне резонансной частоты момент стабилизации и момент внешнего возмущения сигнала системы одинаковые по амплитуде и по частоте, но они отличаются друг от друга по фазе (максимальная амплитуда момента стабилизации сигнала равна 1 В).

Из рисунка 3 можно сделать вывод, что в диапазоне частоты близкой к резонансной: момент стабилизации сигнала стал больше по амплитуде (максимальная амплитуда выходного сигнала равна 1,19 В).

Из рисунка 4 заключаем, что в диапазоне частоты больше резонансной момент стабилизации сигнала стал меньше и ниже по амплитуде. Поведение системы стало хуже, а амплитуда момента стабилизации очень маленькая по сравнению с амплитудой приложенного внешнего момента.

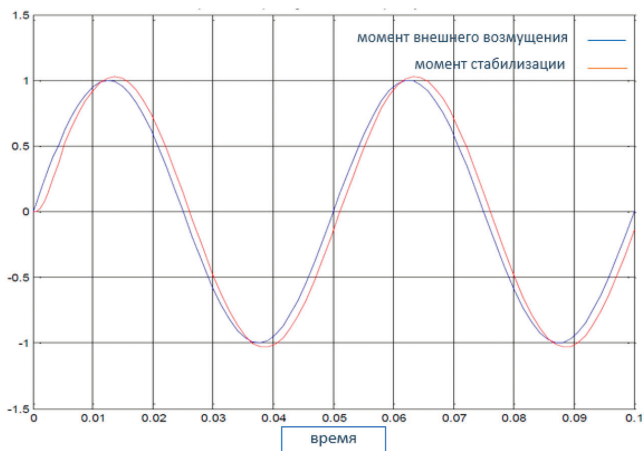


Рис 2. Момент внешнего возмущения и момент стабилизации сигнала при частоте $f=20$ Гц (максимальная амплитуда выходного сигнала равна 1 В)

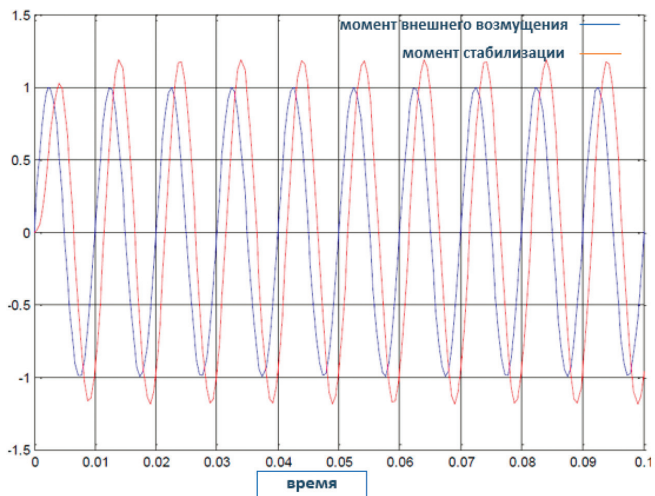


Рис. 3. Момент внешнего возмущения и момент стабилизации сигнала при частоте $f = 100$ Гц (максимальная амплитуда выходного сигнала равна 1,19 В)

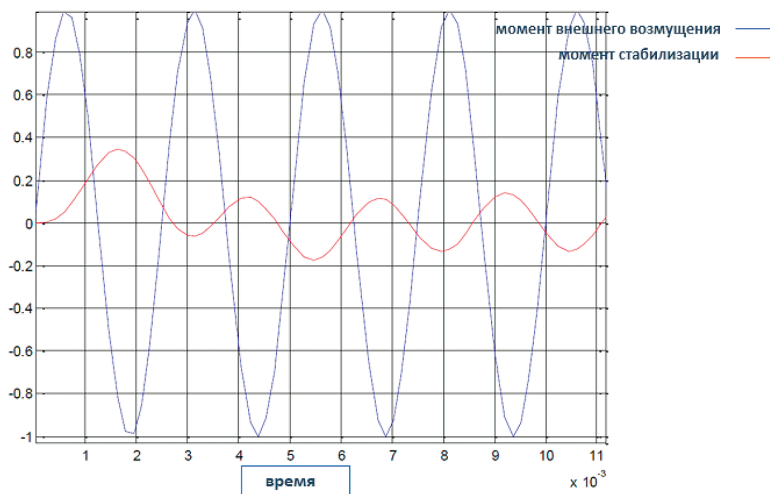


Рис. 4. Момент внешнего возмущения и момент стабилизации сигнала при частоте $f = 400$ Гц

Вывод. Результаты, полученные в данном исследовании, позволяют сделать следующие выводы, что данная платформа может быть установлена на любом основании, при условии, что частота колебаний, которым подвергается основание, находится в диапазоне частот до резонанса. Поэтому эту платформу нежелательно использовать, если основание вращается с высокими частотами, например, если она находится в водном или воздушном транспорте.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Козлов В. В., Кулешов А. В., Фатеев В. В.** Гироскопические стабилизаторы съемочной аппаратуры. Опыт разработки // Авиакосмическое приборостроение. 2013. №. 12. С. 27–42

2. **Матвеев В. А.** Гироскоп – это просто. М., Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. 191 с. URL: [https://baumanka.pashinin.com/IU2/sem7/%D0%93%D0%A1%D0%9E%20\(%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%86%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%95%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B0%20%D0%92%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0\)/%D0%AD%D0%9A%D0%97%D0%90%D0%9C%D0%95%D0%9D/%D0%94%D0%9E%D0%9F/%D0%93%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%20-%20%D1%8D%D1%82%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE.pdf](https://baumanka.pashinin.com/IU2/sem7/%D0%93%D0%A1%D0%9E%20(%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%86%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%95%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B0%20%D0%92%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0)/%D0%AD%D0%9A%D0%97%D0%90%D0%9C%D0%95%D0%9D/%D0%94%D0%9E%D0%9F/%D0%93%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%20-%20%D1%8D%D1%82%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE.pdf) (дата обращения 05.03.2023).

3. **Арсеньев В. Д., Фатеев В. В.** Маховичный индикаторный гироскопический стабилизатор углового положения // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 12. С. 49–56.

4. **Полынков А. В., Лаптева Т. Н.,** разработка электрической схемы гироскопического стабилизатора. М., Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 32 с. URL: [https://baumanka.pashinin.com/IU2/sem8/%D0%9A%D0%A3%D0%A0%D0%A1%D0%90%D0%A7%20%D0%A2%D0%93%20\(%D0%A0%D1%83%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%20%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%BB%20%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87\)/%D0%AD%D0%9B.%20%D0%A1%D0%A5%D0%95%D0%9C%D0%90/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B0.pdf](https://baumanka.pashinin.com/IU2/sem8/%D0%9A%D0%A3%D0%A0%D0%A1%D0%90%D0%A7%20%D0%A2%D0%93%20(%D0%A0%D1%83%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%20%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%BB%20%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87)/%D0%AD%D0%9B.%20%D0%A1%D0%A5%D0%95%D0%9C%D0%90/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B0.pdf) (дата обращения 05.03.2023).