

УДК 681.2; 681.51

Н.Н. Желтова, В.И. Обухов

**ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ
В НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева

Предмет, тема, цель работы: проведение анализа принципов работы, состояния производства микромеханических гироскопов, их точностных возможностей, выявление основных направлений использования микромеханических гироскопов в системах ориентации и навигации летательных аппаратов.

Методология проведения работы: проведены исследования технических характеристик промышленно-выпускаемых микрогироскопов отечественными и зарубежными предприятиями и анализ их погрешностей.

Результаты: выработаны рекомендации по повышению чувствительности микромеханических гироскопов.

Значение исследования: состоит в возможности применения предложений авторов при проектировании микромеханических гироскопов пригодных для систем ориентации и навигации летательных аппаратов.

Новизна/ценность: состоит в постановке задачи использования микромеханических гироскопов в системах ориентации и навигации летательных аппаратов с целью минимизации их массогабаритных характеристик и определения направления их модернизации для решения поставленных задач.

Ключевые слова: микромеханический гироскоп, навигационные системы, чувствительность, точность, технические характеристики.

Введение

Инерциальные навигационные системы (ИНС), чувствительные элементы которых, измеряя приращения углов и линейной скорости, позволяют определить все параметры ориентации и навигации. Навигационные системы используются на подвижных объектах, в частности, на летательных аппаратах (ЛА), которые во многом определяются совершенством акселерометров, гироскопических датчиков первичной информации. В настоящее время существует большое многообразие различных типов гироскопов, которые обеспечивают необходимые эксплуатационные характеристики ЛА.

Каждому типу гироскопа можно найти оптимальную нишу применения. При их выборе учитываются следующие основные характеристики: точность, надежность работы, энергопотребление, габаритные размеры и стоимость. В зависимости от требований, предъявляемых к системам управления и навигационным системам, выбирается соответствующий тип гироскопического датчика.

Постановка задачи

Одними из наиболее применяемых систем ориентации и управления в различных областях техники являются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), которые имеют малые размеры, массу и энергопотребление. Использование микромеханических гироскопов дает возможность создавать миниатюрные БИНС.

В настоящее время большое количество современных высокоточных навигационных систем используют данные спутниковой системы GPS. Тем не менее, имеется опасность выхода спутниковой системы из строя, что приведет к нарушению работы навигационных систем. Поэтому уделяется серьезное внимание разработкам, не зависящим от спутниковой системы [2].

Из всего многообразия гироскопов можно выделить наиболее перспективные: лазерные гироскопы (ЛГ), волоконно-оптические (ВОГ), волновые твердотельные (ВТГ) и микромеханические гироскопы (ММГ).

Основным их преимуществом является повышенная надежность работы из-за отсутствия быстро вращающихся роторов и карданных подвесов, минимальное потребление электроэнергии за счет реализации основных функциональных узлов на базе сервисной микроэлектроники и возможность повышения точностных характеристик путем математической обработки первичных сигналов датчиков в микропроцессорах [1].

Тем не менее, современная российская база ММГ на данный момент уступает по основным техническим характеристикам импортным образцам. Поэтому российские БИНС имеют худшие массогабаритные характеристики по сравнению с западными аналогами, а также высокую стоимость [2].

Таким образом, задача создания БИНС на микромеханических элементах и разработка ММГ в России является важной.

Однако все отечественные и зарубежные ММГ все еще отстают по точности и шумовым характеристикам традиционным гироскопам. Следовательно, актуальной является задача исследования и разработка путей улучшения точностных характеристик МГ.

Технические характеристики

Разработку ММГ ведут ряд ведущих зарубежных фирм. В США это корпорации Analog Devices, Boeing North American, Rockwell International Corporation, Northrop Grumman Corporation, Litton Systems и Motorola. Фирмами, специализирующимися на создании навигационных систем на основе микромеханических датчиков и приборов, являются Integrated Micro Instruments и Charles Stark Draper Laboratory. В Японии разработкой микромеханических устройств занимаются корпорации: Murata Manufacturing, Fujitsu, Nippon Soken, Toyota, Matsushita Electric Industrial. В Великобритании ведущей корпорацией по микродатчикам является British Aerospace, в Южной Корее - корпорация Samsung, в Германии - корпорации Robert Bosch и Siemens, во Франции - корпорация SAGEM. В России проектированием и изготовлением ММГ занимаются в ЦНИИ «Электроприбор», Раменском проектно-конструкторском бюро (РПКБ), НИИ "Полюс", НИИ "Астрофизика", ЗАО «Гирооптика», в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения (СПб ГУАП), Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (СПб ГПУ), Московском государственном институте электронной техники (МИЭТ), Таганрогском государственном радиотехническом университете (ТРТУ) и других [3].

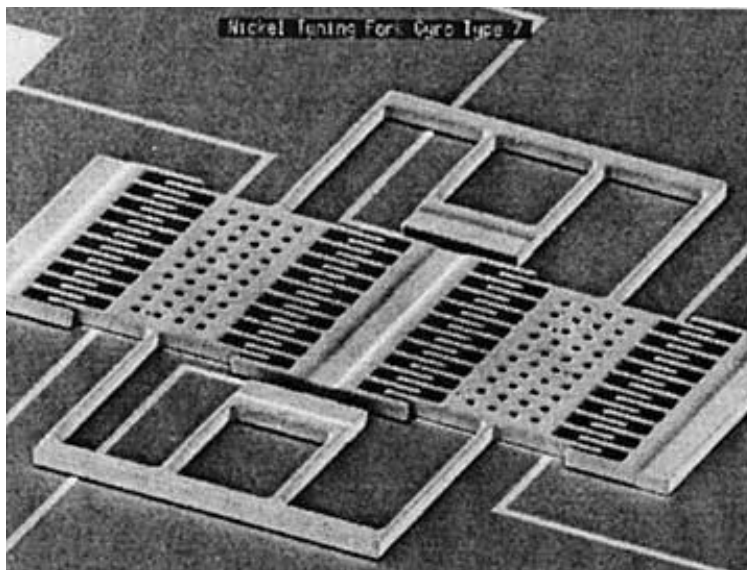


Рис. 1. Микроструктура LR-гироскопа Draper Laboratory

Каждая отдельная фирма-производитель создает и использует собственную концепцию производства МЭМС. Переход от классических схем с вращающимся ротором позволяет устранить из схемы измерительных устройств подвижные узлы, обладающие наименьшей надежностью. Упрощение конструкции обеспечивает полную ее совместимость с технологиями микроэлектроники [3].

На рис. 1 представлен один из первых ММГ *LR*-типа, спроектированный компанией *Draper Laboratory* [4].

ЧЭ ММГ состоит из двух инерционных масс (ИМ). Эти ИМ прикреплены упругими элементами подвеса к анкерам, в свою очередь крепящимся к подложке. На ней размещены статоры электростатических гребенчатых датчиков силы (ДС) и неподвижные электроды емкостных датчиков положения (ДП). Подвижные электроды ДП располагаются на ЧЭ. ИМ противофазно линейно колеблются вдоль ее плоскости. При возникновении угловой скорости Ω перпендикулярно плоскости ИМ на нее будут действовать Кориолисовы силы. Вызываемые данными силами угловые колебания рамки и ИМ измеряются емкостными ДП [4].

Все разнообразие ММГ подразделяются на *LL* -, *LR* - и *RR* – типа: в зависимости от характера движения ИМ. В ММГ *LL* – типа ИМ совершает плоскопараллельное движение, в *LR* – типа плоскопараллельное и угловое движения и в *RR* – типа – угловые движения. ММГ *RR* – типа имеют ИМ в виде круглого диска, который совершает крутильные колебания вокруг своей оси симметрии, в результате, при наличии угловой скорости возникают Кориолисовы силы, вызывающие крутильные колебания относительно оси, перпендикулярной основному движению ИМ.

Для сравнения технических характеристик ММГ различных типов в табл. 1 приведены технические характеристики ММГ *LL* – и *LR* – типа, а в табл. 2 – *RR* – типа.

Таблица 1

Технические характеристики гироскопа ADXRS

Марка	ADXRS150	ADXRS300	ADXR16100
Рабочий диапазон скорости вращения, град/с	150	300	300
Чувствительность, мВ/град/с	12,5±10%	5,08%	4,1LSB ⁰ /с
Полоса частот, кГц	0-2	0-2	0-2
Плотность шума, град/с/√Гц	0,05	0,10	0,10
Нелинейность, % от всей шкалы	0,1	0,1	0,15
Напряжение питания, В	4,75-5,25	4,75-5,25	4,75-5,25
Потребляемый ток, мА	6	6	8
Рабочий температурный диапазон, °С	-40...85	-40...85	-40...85
Цена, \$	30	30	41

Таблица 2

Технические характеристики ММГ-2, разработанного в ЦНИИ «Электроприбор»

Количество осей	1
Диапазон измерения	$\pm 150^0/c$
Нелинейность градуировочной характеристики (в диапазоне)	<1 %
Нестабильность коэффициента преобразования	<1 %
Плотность мощности шума (при цифровой передаче данных)	<0,05 ⁰ /с/ Гц
Полоса пропускания	40 Гц
Диапазон рабочих температур	-40...+600 С
Напряжение питания, однополярное	+5 В
Потребляемая мощность	<1 Вт
Время готовности	<5 с
Масса	<50 г
Габаритные размеры	50x18x50 мм
Интерфейсы передачи данных: аналоговый	0...2,5 В
цифровой	RS-232, CAN

Выводы

Известно, что ММГ, в отличие от лазерных гироскопов или ВОГ, имеют не высокую точность.

При рассмотрении разных конструкций ММГ можно выделить их существенные недостатки:

1) чрезмерная минимизация размеров датчиков приводит к значительной потере их чувствительности к входному воздействию, повышению влияния помех, к уменьшению точности измерения;

2) применение электростатических преобразователей силы, которые имеют небольшие силовые характеристики, как правило, требуют обязательного использования резонансного режима работы ММГ;

3) нелинейность характеристик преобразования, которые имеют емкостные датчики положения, требует подключение дополнительных корректирующих устройств линеаризации их характеристик.

Улучшение технических характеристик ММГ позволит создавать ИНС с уменьшенными массогабаритными характеристиками, с автономной и более точной организацией получения полезных сигналов управления подвижными объектами. Обеспечение этой задачи - поиск новых проектных и конструктивных решений ММГ с улучшенными точностными характеристиками. Одно из таких направлений мы видим в повышении чувствительности ММГ к входному сигналу и его стабильность.

В настоящее время мы ставим перед собой задачу провести исследование новых конструкторских и технологических решений по созданию микромеханических структур с необходимыми размерами и системой съема показаний, которая фиксирует перемещения ЧЭ на уровне микрометров.

Библиографический список

1. Бесплатформенные системы ориентации и навигации на микромеханических чувствительных элементах / В.Я. Распопов, В.В. Матвеев [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mr.rtc.ru/doc/report/doc22.pdf>
2. **Иванов, Ю.В.** Анализ возможностей применения микромеханических датчиков для построения систем ориентации аэростатов / Ю.В. Иванов, В.А. Орлов // Известия ТулГУ. Сер. Проблемы специального машиностроения. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. Вып. 8. С. 211–215.

3. **Тыртычный, А. А.** Анализ характеристик компенсирующих преобразователей микромеханических инерциальных датчиков / А.А. Тыртычный, А.А. Скалон // Датчики и системы. 2009. № 2. С. 21–23.
4. **Тыртычный, А. А.** Инерциальные чувствительные элементы на основе МЭМС-технологий // Шестдесят первая студенческая научно-техническая конференция ГУАП: сб. докл.: в 2 ч. Ч. 1. Технические науки / СПбГУАП. – СПб., 2008. С. 44–48.
5. **Шахнович, И.** МЭМС-гироскопы – единство выбора // Электроника: наука, технология, бизнес. 2007. № 1. С. 76–85.

*Дата поступления
в редакцию 28.01.2015*

N. N. Zheltova, V.I. Obuchov

THE APPLICATION OF MICROMECHANICAL GYROSCOPES FOR NAVIGATION SYSTEMS

Arzamasskiy polytechnic institute (branch) NGTU n.a. R.E. Alexeev

Purpose: the analysis of the principles of operation, production of micromechanical gyroscopes, their accuracy capabilities, identification of the main directions of the use of micromechanical gyroscopes in systems of orientation and navigation of aircraft.

Design/methodology/approach: studies of the technical characteristics of industrially produced microgyroscopes domestic and foreign enterprises and the analysis of their errors.

Findings: recommendations for improving the sensitivity of a micromechanical gyroscopes.

Research limitations/implications: consists in the possibility of applying the proposals of the authors in the design of micromechanical gyroscopes suitable for systems of orientation and navigation of aircraft.

Originality/value: formulation of the problem is the use of micromechanical gyroscopes systems orientation and navigation of aircraft in order to minimize their weight and size characteristics and determine the direction of their modernization for the task.

Key words: micromechanical gyroscope, navigation system, sensitivity, precision, technical specifications.