

УДК 531.775

Перспективность создания микромеханического гироскопа на принципах электромагнитного возбуждения и магнитоэлектрического детектирования колебаний

Быков Алексей Евгеньевич^(*)

bukov.alexei@mail.ru

Новиков Александр Олегович

moestro.7@bk.ru

АО АНПП «ТЕМП-АВИА», Арзамас, Россия

Аннотация. Определены основные причины невозможности повторения импортных МЭМС-гироскопов отечественной микроэлектронной промышленностью. Представлен альтернативный путь создания отечественных микромеханических датчиков угловой скорости. Приведены преимущества отечественной конструкции четырехмассового вибрационного гироскопа камертонного типа. Проведено сравнение точностных характеристик отечественного датчика угловой скорости с импортными образцами. Определена область применения отечественного МЭМС-гироскопа и обозначены направления дальнейшей работы по данной тематике.

Ключевые слова: МЭМС-гироскоп, электромагнитный датчик силы, магнитоэлектрический датчик перемещения, четырехмассовый микромеханический гироскоп, газодинамическое демпфирование, встречно-штыревые емкостные структуры

Введение. Рассмотрена перспективность создания микромеханического датчика угловой скорости, построенного на принципах электромагнитного возбуждения колебательной системы гироскопа и магнитоэлектрического детектирования колебаний на фоне мировой тенденции создания МЭМС-гироскопов с электростатическим способом управления.

Методы и материалы; результаты. В основе большинства современных импортных МЭМС-гироскопов лежат электростатический принцип возбуждения посредством встречно-штыревых емкостных структур сложной формы с топологическими нормами изготовления порядка 1 мкм. Герметизация данных сенсоров осуществляется с применением технологии корпусирования на уровне пластин (WLP). А сервисная электроника гироскопа реализуется в виде интегральной схемы специального назначения (ASIC), монтируемой на поверхности крышки-капсулы, с целью минимизации паразитных связей, возникающих при подключении к сенсору [1].

Отечественной микроэлектронной промышленностью воспроизведение подобных датчиков невозможно даже с большими габаритами. Это связано с технологическим отставанием от мировых лидеров в данной отрасли. При этом ключевым ограничивающим фактором является трудность создания отечественной интегральной микросхемы, сохраняющей весь функционал импортного аналога. В подобных условиях целесообразнее построение МЭМС-гироскопов на иных физических принципах работы, в частности применение электромагнитного датчика силы и магнитоэлектрического датчика перемещения для управления и снятия сигналов с сенсора.

Одной из наиболее перспективных конструкций подобного МЭМС-гироскопа является четырехмассовый микромеханический гироскоп камертонного типа [2], способ управления которым основывается на использовании сил Лоренца и Ампера [3]. В отличие от стандартных камертонных гироскопов данная четырехмассовая конструкция нечувствительна к линейному ускорению, случайной вибрации и механическим ударам.

Конструкторские решения, применяемые в данном микромеханическом гироскопе, нельзя считать передовыми с точки зрения мирового уровня, однако они формируют более низкие требования к топологическим нормам изготовления кристаллического элемента, а также чистоте производственных помещений. Кроме того, большие габариты сенсора (в т. ч. зазоров между подвижными элементами) способствуют снижению влияния газодинамического демпфирования на чувствительный элемент в сравнении с МЭМС-гироскопами с электростатическим способом управления. Что, в свою очередь, не накладывает жестких требований на наличие глубокого вакуума (порядка 10^{-4} Па) в объеме чувствительного элемента. Данный сенсор стабильно работает при атмосферном давлении, но для увеличения добротности в объеме чувствительного элемента создается пониженное давление порядка 1–2 Па.

Отсутствие емкостных преобразователей значительно упрощает реализацию контура обратной связи при создании законченного образца датчика угловой скорости (ДУС-ММ) ввиду отсутствия необходимости осуществлять измерение переменных емкостей. Кроме того, сервисная электроника реализуется на печатной плате, что также считается преимуществом в условиях отечественного производства.

Однако применяемый в ДУС-ММ чувствительный элемент имеет существенный технологический недостаток — это потребность сведения начальной разностотности резонатора с помощью механической балансировки. В то время как в МЭМС-гироскопах с электростатическим способом управления разностотность сводят за счет формирования необходимого электрического потенциала на обкладках встречно-штыревых емкостных элементов, таким образом уменьшая жесткость колебательной системы в требуемом направлении. При этом по точностным характеристикам ДУС-ММ по ряду параметров может конкурировать с импортными инерциальными измерительными модулями, такими как GNI11AY и IMU100-EX (см. таблицу).

Сравнение отечественного и импортных датчиков угловой скорости

Параметр	ДУС-ММ	GNI11AY	IMU100-EX
Стабильность нулевого сигнала, °/ч	≤ 40	≤ 10	≤ 12
Температурный дрейф нулевого сигнала, °/ч	≤ 200	≤ 150	≤ 150
Полоса пропускания, Гц	15	≥ 100	≥ 100
Габариты, мм	50×50×21	22,4×22,4×9	22,4×22,4×9

Заключение. Построение датчиков угловой скорости на базе сенсоров, использующих принципы электромагнитного датчика силы и магнитоэлектрического датчика перемещения, является компромиссом между точностью, стабильностью выходных характеристик и производственной реализуемостью датчика. Создание отечественного серийнопригодного микромеханического гироскопа является крайне необходимым при диверсификации стратегически важных областей военно-промышленного комплекса, в которых применяют импортную датчиковую аппаратуру. Достигнутые точностные характеристики ДУС позволяют создавать на их базе системы навигации и автоматического управления низкого класса точности. Дальнейшие работы в данном направлении должны быть в большей мере направлены на оптимизацию процессов изготовления сенсоров, их сборки и балансировки.

Список источников

- [1] Acar C., Shkel A. MEMS Vibratory Gyroscopes Structural Approaches to Improve Robustness. Springer, 2009, 256 p.
- [2] Быков А.Е., Гаврилов А.А., Новиков А.О., Шипунов А.Н. Чувствительный элемент микромеханического гироскопа. Патент № 2807466 С1 РФ, 2023, бюл. № 32.
- [3] Анакин А.И., Быков А.Е., Былинкин С.В., Гаврилов А.А., Новиков А.О., Шипунов А.Н. Способ управления четырехмассовым резонатором в микромеханическом гироскопе. Патент № 2825192 С1 РФ, 2024, бюл. № 24.