

Чиковани В.В. д.т.н., Яценко Ю.А., Коваленко В.А. (ГНИП «УТЦОП», Україна)

КОРИОЛИСОВЫЙ ВИБРАЦИОННЫЙ ГИРОСКОП С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ

Кориолисовый вибрационный гироскоп (КВГ) является датчиком угловой скорости без вращающихся частей. Этот гироскоп, использующий в качестве резонатора металлический цилиндр, сравним по габаритам со многими типами микромеханических гироскопов (ММГ) [1], интенсивно разрабатываемых в Европе и США. В настоящее время КВГ с кварцевым резонатором [2] был признан в США наиболее надежным гироскопом, насчитывающим 4.5 миллиона часов наработки на отказ и, принятый фирмой Нортроп Груммен (Northrop Grumman) к серийному производству.

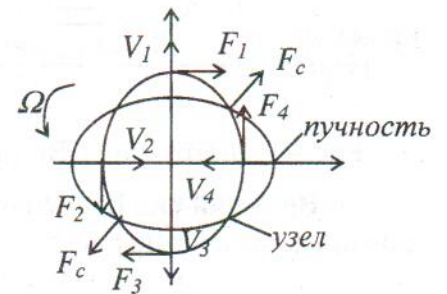
Принцип работы КВГ

Принцип измерения угловой скорости КВГ основан на инерциальных свойствах упругих волн возбуждаемых в резонаторах на звуковых частотах. В цилиндрическом резонаторе возбуждается стоячая волна на второй резонансной моде колебаний (основная волна), которая характеризуется четырьмя пучностями и узлами колебаний. При вращении резонатора с угловой скоростью Ω , на него действуют силы Кориолиса F_1, F_2, F_3, F_4 (см. рис.1), возбуждающие в направлении действия результирующей силы F_c , дополнительную волну, которая для идеально симметричного и однородного резонатора ориентирована под углом 45° к основной волне (см. рис. 2). Пучности дополнительной волны расположены на узлах основной волны, а узлы дополнительной волны - на пучностях основной волны. Результирующая кориолисова сила определяется из следующего соотношения:

$$F_c = 2V \times \Omega,$$

где Ω – угловая скорость вращения резонатора как твердого тела (измеряемая угловая скорость); V – линейная скорость движения элементарных масс резонатора в процессе колебаний основной волны.

Таким образом, амплитуда дополнительной волны, возбуждаемая кориолисовыми силами прямо, пропорциональна измеряемой угловой скорости Ω . Амплитуда дополнительной волны измеряется электродом, установленным в узле колебаний основной волны и, с помощью электроники обратной связи (см. рис. 3) демпфируется, путем подачи компенсирующего сигнала на вторую из четырех узлов основной волны. При этом, сигнал обратной связи пропорционален измеряемой угловой скорости Ω .



F_1, F_2, F_3, F_4 – Силы Кориолиса;
 F_c – Результирующая сил Кориолиса

Рис. 1. Действие сил Кориолиса на вращающийся резонатор



Рис. 2. Возбуждение упругих волн в резонаторе КВГ

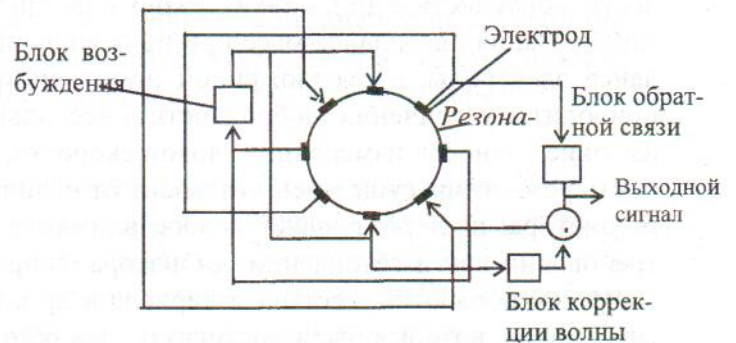


Рис. 3. Блок схема КВГ

Конструкция КВГ

Прибор состоит из основания с посадочными местами. В торце основания, или на шлейфе, устанавливается внешний 8-ми контактный разъем. Сверху на основании установлен резонатор в герметичном металлическом корпусе с выводами, направленными вниз под основание. Снизу основания расположена кросс - плата с предварительными усилителями и межплатными соединениями. Сигналы с каждой платы через межплатный разъем поступает на кросс - плату и далее на другую плату или на электроды резонатора. Платы крепятся на детали квадратной формы в вертикальном положении. На рис.4 показан вид сверху КВГ.

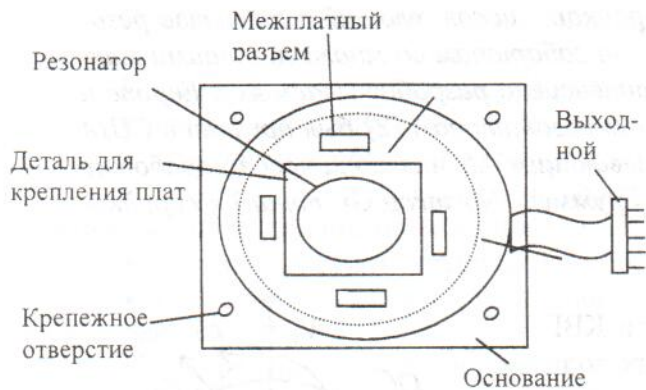


Рис.4. Конструкция КВГ (вид сверху)

Внешний вид КВГ с кожухом и без него, а также резонаторы различных диаметров представлены на рис. 5.

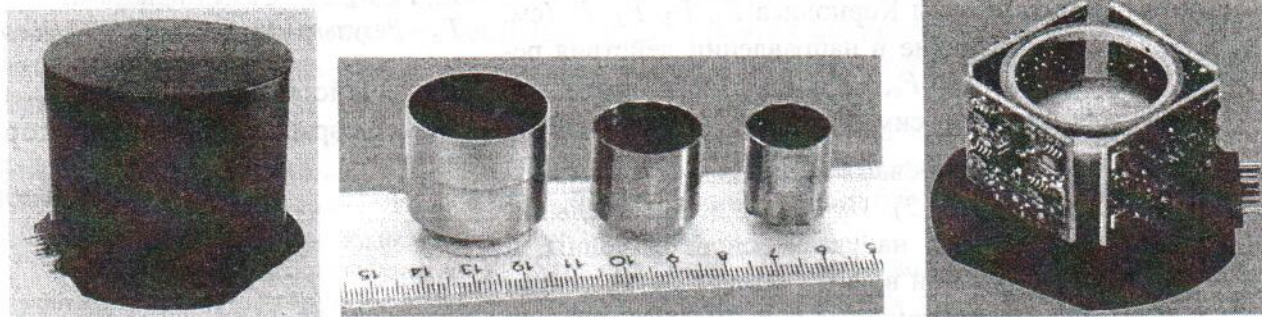


Рис. 5. Внешний вид КВГ и металлические резонаторы

Характеристики КВГ

Характеристики КВГ с металлическим резонатором в основном определяются добротностью резонатора – временем затухания свободных колебаний. Чем больше время затухания, тем точнее и чувствительнее КВГ. Время затухания свободных колебаний зависит от качества обработки поверхности резонатора (шероховатость, некруглость, конусность и др.), а также разнотолщинность стенок цилиндра. Важным является минимизация дисбаланса масс при приклеивании электродов. Для минимизации дисбаланса электроды, в предложенной нами конструкции, клеятся на дно цилиндра, что приводит к увеличению добротности в несколько раз и позволяет получать достаточно высокие точности измерения угловой скорости, не используя вакуумирования. Добротность резонатора существенно зависит от наличия внутренних напряжений в материале резонатора, поэтому следует особое внимание уделять соблюдению технологических требований при изготовлении резонатора (скорости и глубины шлифовки, режима термической обработки, состава материала и др.). В таблице 1 приведены характеристики гироскопов, которые были достигнуты для резонаторов диаметром 17 мм., 22 мм. и 25 мм.

Таблица 1. Характеристики КВГ

Параметр	Резонатор 17мм	Резонатор 22мм	Резонатор 25мм
1. Диапазон угловых скоростей, град/с	±500	±300	±200
2. Полоса частот, Гц.	120	75	40
3. Дрейф нуля, град/ч	50	10	1
4. Случайный шум, град/с ^{1/2}	5×10^{-3}	5×10^{-4}	2×10^{-4}
5. Погрешность МК, %	0.3	0.2	0.2
6. Нелинейность МК, %	0.04	0.02	0.01
7. Температурный диапазон, °С	-30 +50	-30 +50	-30 +50
8. Напряжения питания, В	+15 ; -15	+15 ; -15	+15 ; -15
9. Мощность потребления, Вт	1.3	1.3	1.3
10. Выходной сигнал, В	Напряжение	Напряжение	Напряжение
11. Размеры КВГ, мм	Ø 57×47	Ø 57×47	Ø 57×47
12. Вес, г	100	100	100

Чувствительность и точность КВГ возрастает при увеличении диаметра резонатора и добротности материала, а также при отключении обратной связи. Увеличение чувствительности гироскопа дает возможность реализовать двухрежимный прибор – БИНС с режимом гироскопирования [3]. Характеристики КВГ приведены в стационарных температурных условиях. Для уменьшения влияния изменений температуры на точностные характеристики КВГ, применяются методы коррекции по показаниям датчика температуры. Эквивалентом датчика температуры в КВГ служит собственная частота резонатора пропорциональная его температуре. Сигнал собственной частоты резонатора выводится на внешний разъем прибора. На рис.6 представлена зависимость масштабного коэффициента КВГ от собственной частоты резонатора (температуры) и формула коррекции. Погрешность масштабного коэффициента с коррекцией по показаниям собственной частоты резонатора составляет 0.2 % в диапазоне температур [-20; +45]°С.

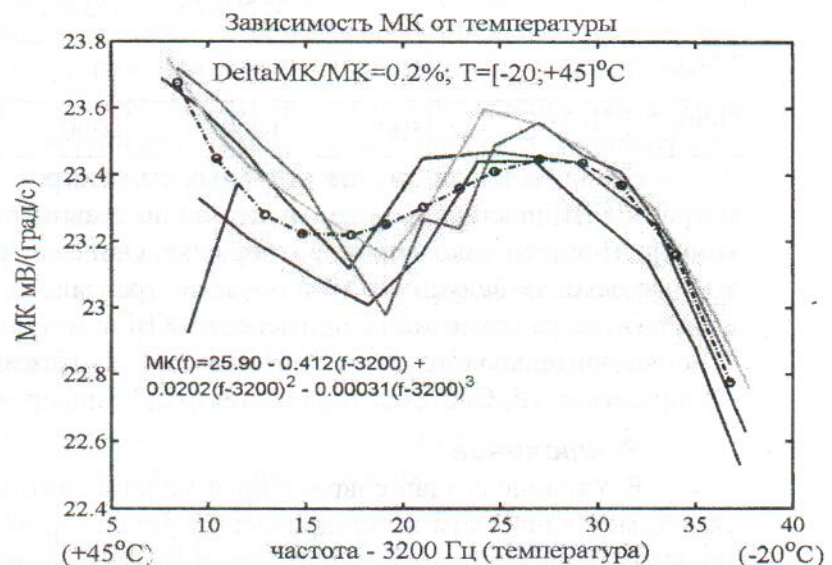


Рис. 6. Коррекция масштабного коэффициента КВГ по показаниям собственной частоты резонатора

Сравнительный анализ

В таблице 2 приведены основные характеристики и стоимости современных гироскопов, сравнимых габаритов и точностей, которые появились на рынке за последние 5-10 лет. Как видно из таблицы 2 наиболее близкие по параметрам к КВГ являются российские гироскопы, особенно волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) московской фирмы «Физоптика». При этом, КВГ имеет повышенное энергопотребление, а также уступает ВОГам по размерам, по остальным параметрам превосходит их. Микромеханический гироскоп фирмы Systron Donner имеет преимущества по размерам и весу.

Таблица 2. Сравнительные характеристики современных гироскопов

Параметр	GyroStar ENV Murata Япония	GyroChip G1-50-100 Systron Donner США	РВГ-1 Темп- Авиа Россия	Физоптика Россия		УкрТЦОП Украина	
				ВГ 941	ВГ 910	КВГ диам. рез-ра 22	КВГ диам. рез-ра 25
Динамич. диапазон, °/с	80	50	90	500	200	300	200
Полоса частот, Гц	7	60	45	1000	1000	75	50
Дрейф нуля, °/ч	3600	15	18	100	15	10	1
Нелинейность МК, %	0.5	0.1	0.5	-	0.2	0.03	0.01
Температ. диапазон, °С	-30 +80	-40 +80	-55 +70	-30 +70	-30 +70	-30 +50	-30 +50
Случайный шум, град/√с	0.4	0.01	3×10^{-4}	0.01	1.5×10^{-3}	5×10^{-4}	2×10^{-4}
Мощность потребле- ния, Вт.	0.075	0.8	5	1	1	1.3	1.3
Размеры, мм.	19×46× 38	Ø50×25	Ø34×37	Ø27×58	Ø80×25	Ø57× 47	Ø57× 47
Масса, г.	50	100	50	40	110	100	100
Цена, \$ США	300	1500	2000	2700	950	800	1500

Сравнительный анализ основных параметров современных гироскопов с параметрами КВГ показал его преимущества по главным параметрам, которые определяют конкурентоспособность прибора на рынке. Однако, несколько уступают по габаритам и весу гироскопам ведущих в этой области стран мира.

Области возможного применения КВГ с металлическим резонатором: 1. Контрольно-измерительная техника 2. Навигация. 3. Наземный гироскоп 4. Диагностика трубопроводов 5. Системы управления: а). Демпфирование б). Стабилизация.

Заключение

В Украине создан современный малогабаритный твердотельный волновой гироскоп с металлическим цилиндрическим резонатором, не уступающий по своим характеристикам гироскопам ведущих стран мира. КВГ имеет широкий диапазон применений от систем стабилизации, навигации до систем диагностики продуктопроводов и гироскопических систем. Уникальные свойства КВГ изменять точность и чувствительность при включении и выключении обратной связи могут быть использованы при создании двухрежимных бесплатформенных инерциальных навигационных систем, обеспечивающих как начальную выставку (режим гироскопа), так и режим навигации/ориентации в движении.

Список літератури

1. W. Geiger, U. Breng, P. Leinfelder and others «The Micromechanical Coriolis Rate Sensor μ CORS II.- Symposium Gyrotechnology, Stuttgart, 16-17 September, 2003, pp.5.1-5.9.
2. D.D. Lynch, A. Matthews, G.T. Varty «Transfer of Sensor Technology from Oil-Drilling to Space Application.- 5-th S.Petersburg Int.Conference on Integrated Navigation Systems, Ed. V.G. Peshekhonov, May 25-27, 1998, pp. 27-36.
3. V.V. Chikovani «Precision angle orientation measurement with the use of inertial measuring unit employing low accuracy optical gyros».- Proc. of SPIE, v. 2729, 1995, pp. 182-190.