

VIBRATORY GYROSCOPE FOR STABILIZATION AND GUIDING SYSTEMS

Authors: V.M. Azarskov, V.V. Chikovani, V.M. Guzev, H. V. Tsiruk – NAU SE IAN dep.of ACS
S.S. Shershnev, A. V. Petrenko – PJSC “SPA Kyivskiy zavod autimaticy”.

Abstract: The Digital Vibratory Gyroscope (DVG) is the hi-tech modern instrument without the rotating parts. This instrument measures absolute angular rate and a turning angle, and as a part of stabilization and guiding systems, heading, roll and pitch angles of vehicles and platforms on which they are used.

The main difference of DVG technology from competing ones, such as fiber-optic (FOG) and ring laser (RLG), is that technical solutions are developed and patented in Ukraine, which enable to manufacture low-cost resonators from metal alloy with stable resonant frequency and high enough quality factor. Moreover, assembly, tuning of electronic units, and also calibration of DVG key parameters is carried out with significantly smaller labor and financial expenses, than the competing technologies. At the same time, the accuracy and performance of DVG don't concede, and reliability exceeds many times the appropriate parameters of the competing technologies.

Key words: digital vibratory gyroscope, metallic resonator, digital control system

Development goal: Creating a high-tech precision and highly reliable digital gyroscope for application in stabilization and guiding systems of wide class of vehicles

Brief description of the development:

Vibratory gyroscope is one of the chronologically latest gyroscopic technologies existing nowadays in the modern market.

The international standard IEEE 1431-2004 approved the full name of this gyroscope as a Coriolis vibratory gyroscope (CVG). Digital implementation of CVG we called digital vibratory gyroscope (DVG).

Standing wave is generated in a resonator at one of the resonant frequencies (primary wave). Fig.1 shows the standing wave on the second resonant mode of the ring-like resonator which is characterized by 4 antinodes (maximum vibration amplitude) and 4 nodes (minimum vibration amplitude) located along circumferential coordinate under angles of 45 deg.

Under resonator rotation with angle rate Ω , there arise Coriolis forces F_1, F_2, F_3, F_4 (fig.1), which generate secondary (Coriolis) mode of vibration in the direction of resultant force F_c . Resultant Coriolis force is proportional to angle rate, Ω , and can be determined as follows:

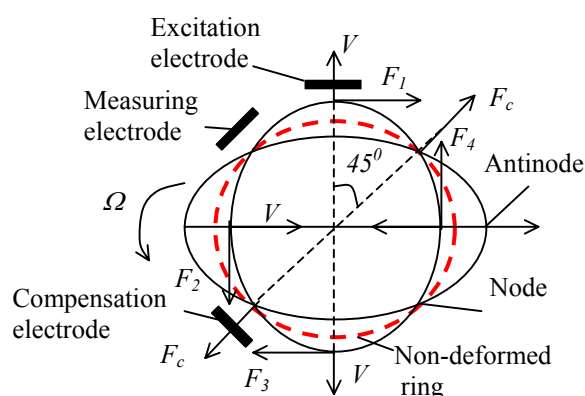


Fig.1. To CVG operation principle

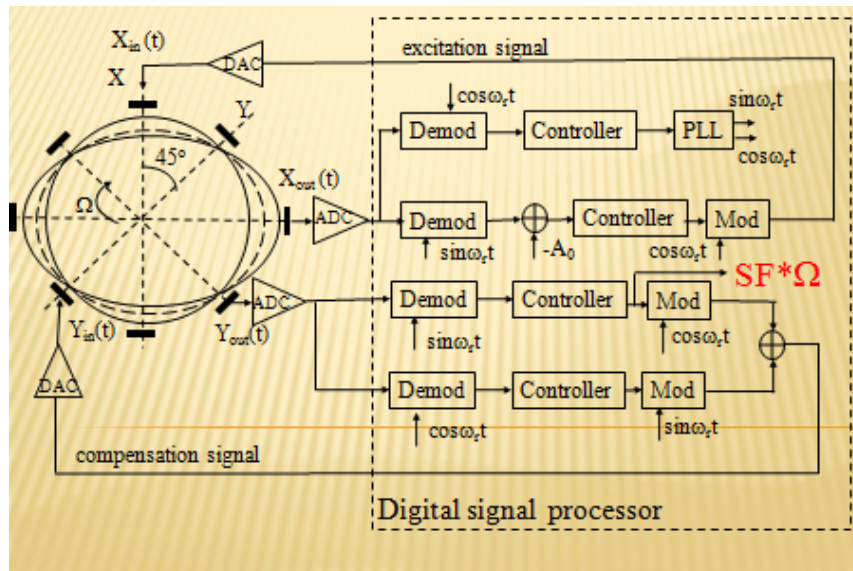
$$\vec{F}_c = 2m[\vec{\Omega} \times \vec{V}];$$

$$V = A_0 \omega_r \cos(\omega_r t); F_c = 2mA_0 \omega_r \Omega \cos(\omega_r t),$$

where A_0 is a ring vibration amplitude at the resonant frequency ω_r , V is linear velocity of radial motion in process of vibration; m is an effective vibrating mass.

Thus, vibration amplitude generated by Coriolis force is proportional to angle rate Ω . Secondary (Coriolis) mode amplitude is measured by electrode located at the node of the standing wave and with the aid of feedback control system is damped by applying compensation signal on the other node as depicted in fig.1. Feedback control signal that compensates secondary mode of vibration is proportional to angle rate, Ω .

DVG CONTROL SYSTEM BLOCK DIAGRAM

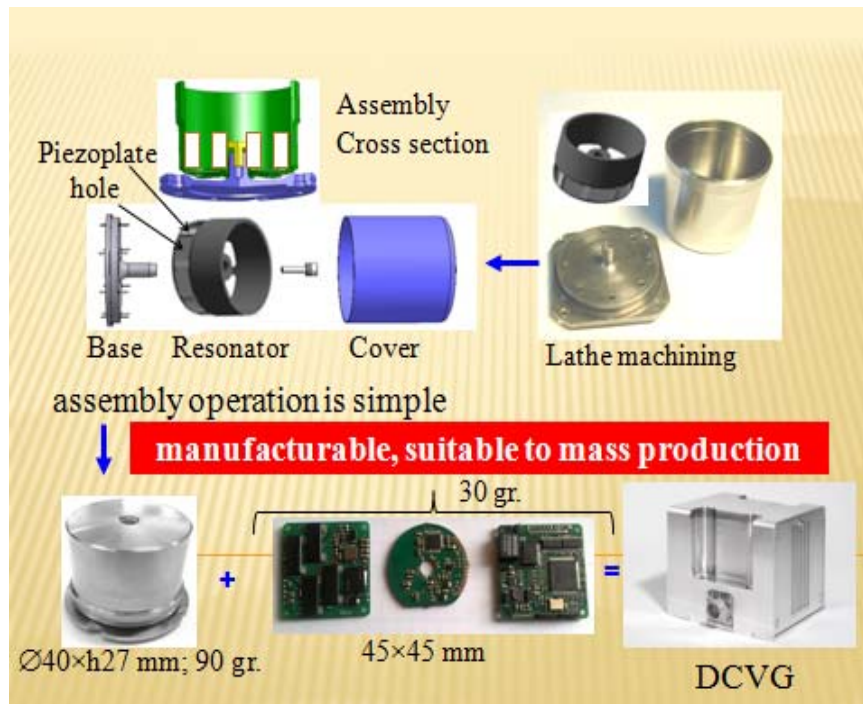


X_{in} , Y_{in} are control signals; X_{out} , Y_{out} are measurement signals; PLL is a phase lock loop ; A_0 is primary wave vibration amplitude; SF is DVG scale factor; ADC is analog to digital converter; DAC is digital to analog converter.

Obtained results:

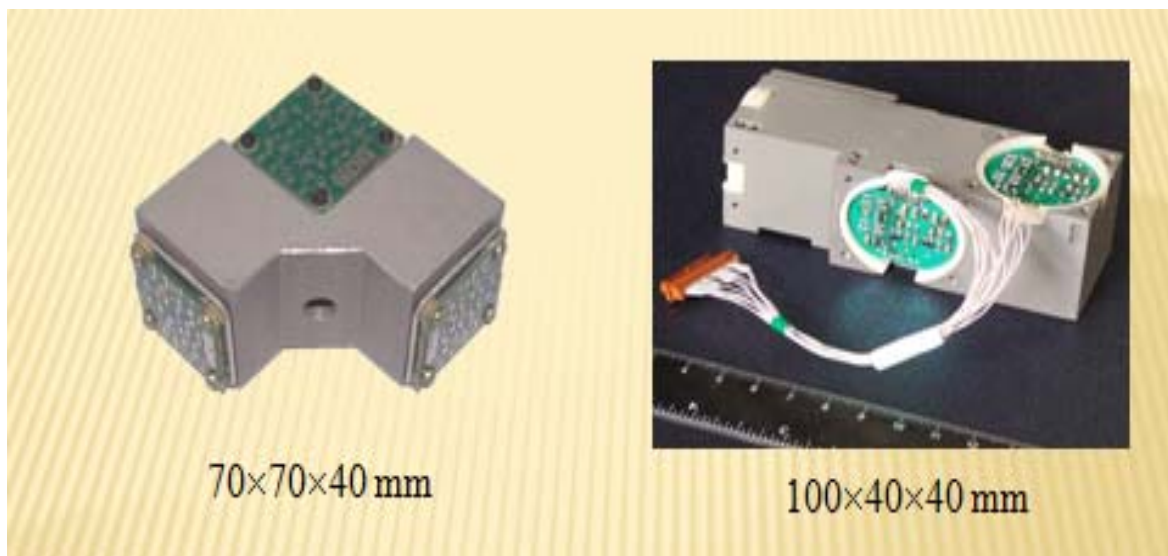
As a result of this work have been designed and manufactured at JSC “SPA Kyivskiy zavod avtomatichy” batch of DVG prototypes. external view and its components are shown in Photo 1.

DVG COMPONENTS



We have also developed variants of tree-axis units shown in photo 2.

3D UNIT VARIANTS



Mean times between failures (MTBF) have been estimated using stress factors method. The results are shown in the table 1.

DVG MEAN TIMES BETWEEN FAILURES ESTIMATION

Environment on applications	MTBF Confid. probabil. 99% hours (years)	MTBF Confid. probabil. 99.9% hours (years)
Ground vehicles, uncontrolled environment, $\pi_E = 4.0$	408 042 (46)	271 929 (31)
Naval, Sheltered, $\pi_E = 4.0$	408 042 (46)	271 929 (31)
Airborne, inhabited, Cargo, Fighters, $\pi_E = 5.0$	326 434 (37)	217 543 (24)
Airborne, Rotary Winged, $\pi_E = 8.0$	204 021 (23)	135 964 (15)
Space, Flight $\pi_E = 0.5$	3 264 340 (372)	2 175 438 (248)
Missile, in flight, M_F , $\pi_E = 5.0$	326 434 (37)	217 543 (24)
Missile, Launch, M_U , $\pi_E = 12.0$	136 014 (15)	90 643 (10)

Average values of DVG parameters are presented in the table 2.

DVG SPECIFICATION

Parameters	Units	Values
Measurement range	deg/s	±200,±400
Bandwidth	Hz	100
Scale Factor (SF)	1/(deg/s)*	0.02-0.04
Normal Environment (+25 °C)		
SF Linearity	%	≤0.04
SF day-to-day repeatability	%	≤0.03
Bias repeatability, turn-on to turn-on	deg/s	≤ 0.01
Bias stability (in run, 1 σ)	deg/s	≤ 0.003
Random walk (1 σ)	deg/√s	0.003
Temperature Range [-40 +75] °C		
Bias temperature sensitivity	град/с/°C	0.0003-0.003
SF temperature sensitivity	%/°C	≤0.003
Environment Condition		
Working temperature range	deg C	-40 +75
Storage temperature	deg C	-50 +95
Vibration survival	g RMS,20...3000 Hz	≥15
Shock survival	g, 2 ms	≥400
Physical Parameters		
Voltage supply	+ V	15...30
Power consumption	W	<2.5
Interface		RS-485,422
Output data	Average angular rate and temperature (6-byte float numbers) in a data frequency of no more than 600 Hz..	
Data output mode	Continuous data output over an asynchronous interface at up to 600 Hz. Synchronous interface is possible by agreement. More than 600 Hz is possible by agreement	
Dimensions	mm	2.62×72×58
Mass	gr	400
* Output code/SF = Ω deg/s		

List of the papers on the development topic

1. V. Chikovani, O. Suschenko, H. Tsiрук Redundant Information Processing Techniques Comparison For Differential Vibratory Gyroscope.- Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 4/7 (82), 2016, pp. 45-52.
2. С.П. Малярів, В.Г. Цірук, В.В. Чіковані, О.В. Петренко «Спосіб компенсації температурної погрішності масштабного коефіцієнту вібраційного гіроскопа».- Пат. України № 111408, МПК G01 С 19/56.- Опубл. 25.04.2016, бюл. № 8.
3. V.V. Chikovani “Fiber optic gyro versus Coriolis vibratory one”. - Військово-технічний збірник.-Л.: Академія сухопутних військ ім. П. Сагайдачного, №1 (10), 2014 р. стор.78-82.

4. В.М. Азарсков, В.В. Чіковані «Розробка методик корекції та паспортизації параметрів кориолісового вібраційного гіроскопа та дослідження режимів його роботи».- НДР № 796-X13, НАУ, 2013 - 128 с.
5. V. V. Chikovani, G.V. Tsiрук “ Vibratory gyro accuracy parameters improving by means of excitation control ”.- Electronics and control systems, №3 (36), NAU, Kyiv, 2013, pp.43-48.
6. V. V. Chikovani “Influence of external shocks and internal noises on the resonant frequency tracking system in Coriolis vibratory gyroscope”.- Військово-технічний збірник.-Л.: Академія сухопутних військ ім. П. Сагайдачного, №1 (8), 2013 р. стор.96-101.
7. V. V. Chikovani “Influence of shock on the vibration amplitude stabilization system of Coriolis vibratory gyroscope resonator”.-Електроніка та системи управління, №4 (34), 2012р., стор.56-63.
8. В.М. Азарсков, В.В. Чіковані «Розробка та дослідження методів обробки інформації та реалізація блоків управління хвилею кориолісового вібраційного гіроскопа».- НДР № 795-X12, НАУ, 2012 р., 93 С.
9. В.В. Чіковани, С.П. Маляров «Методика и расчет среднего времени наработки на от-каз по результатам испытаний кориолисового вибрационного гироскопа».- Військово –технічний збірник, Л.: Академія сухопутних військ ім. П. Сагайдачного №2 (5), 2011, стор.119-124.
10. В.В. Чіковані «Спосіб виміру кутової швидкості кориолісовим вібраційним гіроскопом».- Пат. 95709 Україна, МПК G01 С 19/02.- Опубл. 25.08.2011, бюл. № 16/2011
11. В.М. Азарсков, В.В. Чіковані «Розробка вимог до обладнання та алгоритмів балансування резонатора кориолісового вібраційного гіроскопа».- НДР № 744-X11, НАУ, 2011 р., 57 С.

Approbation:

1. V.V. Chikovani “Low-Cost Multi-Functional Metallic Resonator Vibratory Gyroscope”.- Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції, АВІА-2015”. –К.: НАУ, 2015, pp.13.5-13.13.
2. В.В. Чіковани «Украинский вибрационный гироскоп для систем стабилизации и ориентации».- Науково-техн. конф. Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, наві-гації, спостереження та організації повітряного руху», CNS/АТМ, тези доповідей, Ки-їв, 17-19 листопада 2014, стор.148.
3. V.V. Chikovani “Trends of Ukrainian all digital Coriolis vibratory gyroscopes development”.- IEEE Proc. Intern. Conf. on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), NAU, Kyiv, Ukraine, Oct.14-17, 2014, pp.25-28.
4. V.V. Chikovani , H.V. Tsiрук “Differential CVG shock damping capacity. Computer simulation results”.- IEEE Proc. Intern. Conf. on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), NAU, Kyiv, Ukraine, Oct.14-17, 2014, pp.132-134.
5. V.V. Chikovani, O.V. Petrenko, H.V. Tsiрук “Precise vibratory gyroscope based on resonator made of elinvar alloy”.- Proc. of the sixth world congress

"Aviation in the XXI-st century", v.2, Complex systems control (3.5), Kyiv, Ukraine, Sept. 23-25, 2014, pp. 3.5.34- 3.5.38.

6. В.В.Чиковани «Двухосный кориолисовый вибрационный гироскоп на одном чувствительном элементе».- 6-я міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси», Київ, НАУ, 27-29 травня 2013 р., збірник тез, стор. 39-42.

7. В.В.Чиковани «Высоконадежный вибрационный гироскоп с цифровым выходом».- IX міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки», Київ, НТУУ «КПІ», 17-18 квітня 2013 р., ч.1, стор. 324-331.

8. V.V. Chikovani "Performance parameters comparison of ring laser, Coriolis vibratory and fiber-optic gyros based on Allan variance analysis".- IEEE 2-nd Int. Conf. Proc. "Actual problems of unmanned air vehicles development", Oct.15-17, NAU, Kyiv, Ukraine, 2013, pp. 153-156.

9. V.V. Chikovani, Yu.A. Yatsenko "Investigation of azimuth accuracy measurement with metallic resonator Coriolis vibratory gyroscope".- Integrated Navigation Systems:17-th int. conf., 25-27 May 2010.- СПб: Изд-во ЦНИИ "Электроприбор", 2010.- С. 98-102.

10. V.V. Chikovani "Reliability prediction of metallic resonator Coriolis vibratory gyroscope".- Methods and systems of navigation and motion control: I-st int. conf., 13-16 Oct., 2010.- К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту.- С.117-121.