

Билет №21

1. РВГ (резонансный режим)

Двухстепенной роторный вибрационный гироскоп (РВГ) — один из первых вибрационных гироскопов, нашедших промышленное применение (рис. 73). Основные элементы РВГ: ротор 1, торсионы 2, датчики угла 5 и 8, вал 6, двигатель 7, датчики момента 3 и 4. РВГ может работать в двух режимах: 1) дорезонансном при $\omega_0 \ll \dot{\varphi}_0$, где ω_0 — собственная частота незатухающих колебаний ротора; $\dot{\varphi}_0$ — угловая скорость (час-

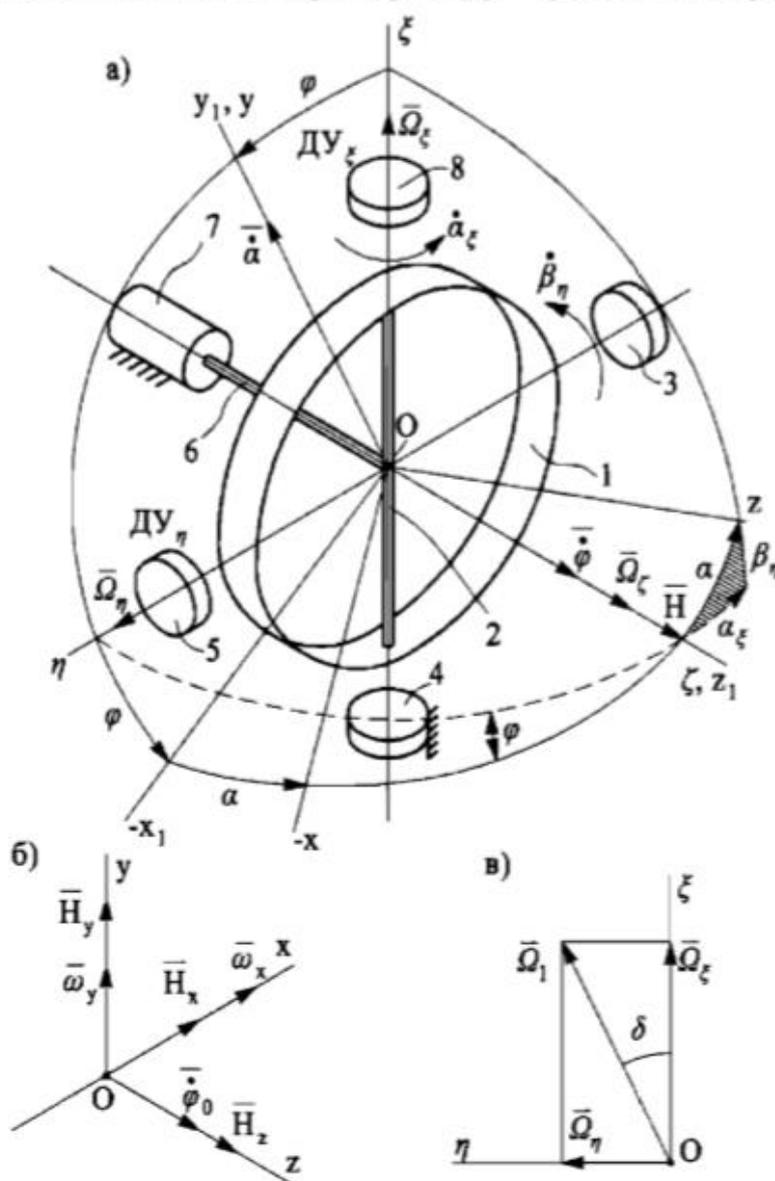


Рис. 73. Схема РВГ

тота вращения) ротора; 2) резонансом при $\dot{\varphi}_0 = \omega_0$, измеряя составляющие угловой скорости объекта Ω_ξ и Ω_η . При первом режиме постоянные составляющие сигнала с ДУ $_\eta$ и ДУ $_\xi$ пропорциональны Ω_ξ и Ω_η , при втором постоянные составляющие сигнала с ДУ $_\eta$ и ДУ $_\xi$ пропорциональны Ω_η и Ω_ξ .

Принцип измерения угловой скорости заключается в том, что гироскопический момент уравнивается упругим моментом торсионов (за целый оборот ротора), к которому добавляется центробежный момент инерции ротора. Составим уравнение движения РВГ, руководствуясь правилом гироскопического момента (с методической целью). Выберем СК: $O\xi\eta\zeta$ связана с корпусом прибора (объектом), Ox_1y_1z — с валом, $Oxyz$ — с ротором (рис. 73, а).

Примем основные допущения: $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 = \text{const}$; угол α — мал; $H_z = C\dot{\varphi}_0$ — кинетический момент гироскопа; C — осевой момент инерции ротора. Составим уравнение движения ротора вокруг оси торсионов Oy , учитывая момент инерции $B\dot{\omega}_y$ ротора (B — момент инерции ротора относительно Oy), гироскопический момент $H_z\omega_x - H_x\omega_z$ (рис. 73, б), внешний момент $M_y = -K\alpha - D\dot{\alpha} + M_{y\text{упр}}$ (K — угловая жесткость торсионов; D — удельный демпфирующий момент). Момент M_y содержит вредные моменты $M^{\text{вп}}$ и управляющие моменты $M_{y\text{упр}}$ при наличии обратной связи (в этом случае РВГ должен иметь датчики момента по осям $O\xi$ и $O\eta$). Суммируем моменты:

$$-B\dot{\omega}_y + H_z\omega_x - H_x\omega_z - K\alpha - D\dot{\alpha} + M_y = 0, \quad (88)$$

где $\omega_y = \dot{\alpha} + \Omega_\xi \cos \varphi + \Omega_\eta \sin \varphi$;

$$\dot{\omega}_y = \ddot{\alpha} - \dot{\varphi}(\Omega_\xi \sin \varphi - \Omega_\eta \cos \varphi) + \dot{\Omega}_\xi \cos \varphi + \dot{\Omega}_\eta \sin \varphi;$$

$$\omega_x \approx \Omega_\xi \sin \varphi - \Omega_\eta \cos \varphi - \dot{\varphi}_0 \alpha;$$

$H_x = A\omega_x$ (A — момент инерции ротора относительно оси Ox).

Раскроем уравнение (88) при $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0$, $M_y = M_y^{\text{вп}}$:

$$B\ddot{\alpha} + D\dot{\alpha} + [K + (C - A)\dot{\varphi}_0^2]\alpha = (C + B - A)\dot{\varphi}_0(\Omega_\xi \sin \varphi - \Omega_\eta \cos \varphi) - B(\dot{\Omega}_\xi \cos \varphi + \dot{\Omega}_\eta \sin \varphi) + M_y^{\text{вп}}. \quad (89)$$

В уравнение (89) входят квазиупругий момент $(C - A)\dot{\varphi}_0^2\alpha$, обусловленный центробежным моментом инерции ротора,

суммарная угловая жесткость $K_\alpha = K + (C - A)\dot{\varphi}_0^2$ и кинетический момент гироскопа $H = (C + B - A)\dot{\varphi}_0$.

При $M_y^{\text{вп}} = 0$, $\Omega_\xi = \text{const}$, $\Omega_\eta = \text{const}$ уравнение (89) имеет вид

$$B\ddot{\alpha} + D\dot{\alpha} + K_\alpha\alpha = H(\Omega_\xi \sin \varphi - \Omega_\eta \cos \varphi). \quad (90)$$

Статическое решение уравнения (соответствует дорезонансному решению):

$$\alpha^* = \frac{H}{K_\alpha} (\Omega_\xi \sin \varphi - \Omega_\eta \cos \varphi), \quad (91)$$

т. е. РВГ измеряет проекции угловой скорости объекта по двум осям — $O\xi$ и $O\eta$ (двухкомпонентный ДУС).

α_ξ , β_η в СК $O\xi\eta\zeta$; зависимости $\alpha_\xi(\alpha)$, $\beta_\eta(\alpha)$ находим из сферического треугольника на рис. 73, а: $\alpha_\xi = \alpha \cos \varphi$; $\beta_\eta = \alpha \sin \varphi$. Тогда

$$\alpha_\xi = -\frac{H}{2K_\alpha} (\Omega_\eta + \Omega_\eta \cos 2\dot{\varphi}_0 t - \Omega_\xi \sin 2\dot{\varphi}_0 t).$$

Постоянная составляющая сигнала ДУ_ξ $U_{\text{вых}\xi} = -h\Omega_\eta$, где $h = \frac{K_{\text{ДУ}}H}{2K_\alpha}$ — чувствительность РВГ.

Аналогично

$$\beta_\eta = \frac{H}{2K_\alpha} (\Omega_\xi - \Omega_\xi \cos 2\dot{\varphi}_0 t - \Omega_\eta \sin 2\dot{\varphi}_0 t).$$

Постоянная составляющая сигнала ДУ_η $U_{\text{вых}\eta} = h\Omega_\xi$.

Ротор совершает колебания с частотой $2\dot{\varphi}_0$ около положения равновесия, определяемого угловыми скоростями Ω_ξ и Ω_η ; это характерно для виброгироскопов.

Преобразуем уравнение (90) к стандартному виду:

$$\ddot{\alpha} + 2\xi\omega_0\dot{\alpha} + \omega_0^2\alpha = \frac{H}{B}\Omega_1 \sin(\dot{\varphi}_0 t - \delta). \quad (92)$$

Здесь $\omega_0 = \sqrt{\frac{K_\alpha}{B}}$ — собственная частота РВГ; $\xi = \frac{D}{2\omega_0 B}$ — отно-

сительная степень затухания; $\Omega_1 = \sqrt{\Omega_\xi^2 + \Omega_\eta^2}$, где $\Omega_\xi = \Omega_1 \cos \delta$;
 $\Omega_\eta = \Omega_1 \sin \delta$; при этом $\operatorname{tg} \delta = \frac{\Omega_\eta}{\Omega_\xi}$ (см. рис. 73, б).

Общее решение уравнения (92)

$$\alpha = \lambda \frac{H}{B\omega_0^2} \Omega_1 \sin(\dot{\varphi}_0 t - \delta - \chi), \quad (93)$$

Для резонансной настройки при $\dot{\varphi}_0 = \omega_0$, $\lambda = \frac{1}{2\xi}$, $\chi = \frac{\pi}{2}$ с
 учетом $H = C\Omega$

$$\alpha = -\frac{C}{D} \Omega_1 \cos(\dot{\varphi}_0 t - \delta).$$

Постоянные составляющие сигналов с ДУ_ξ и ДУ_η соответ-
 ственно:

$$U_{\text{вых}\xi} = -h_p \Omega_\xi; \quad U_{\text{вых}\eta} = -h_p \Omega_\eta,$$

где $h_p = \frac{K_{\text{ДУ}} C}{2D}$ — чувствительность РВГ при резонансной
 настройке.

При резонансной настройке $h_p \gg h$, однако трудность
 обеспечения стабильности демпфирования позволяет приме-
 нять РВГ при $\omega_0 = \dot{\varphi}_0$ только в качестве ЧЭ гиросtabilизи-
 рованных платформ.

2. Условие генерации лазерного ДУС и его выходная характеристика

Стр. 162, 163 (посл. абзац), 164 (1-й абзац), 165 (посл. абзац), 166 (рисунок)

Схема лазерного ДУС (ЛДУС), представляющего собой ак-
 тивный интерферометр — кольцевой оптический квантовый
 генератор, приведена на рис. 94.

Принципиальное отличие ЛДУС от ВОГ состоит в том, что
 активная среда лазера помещается в замкнутый контур опти-

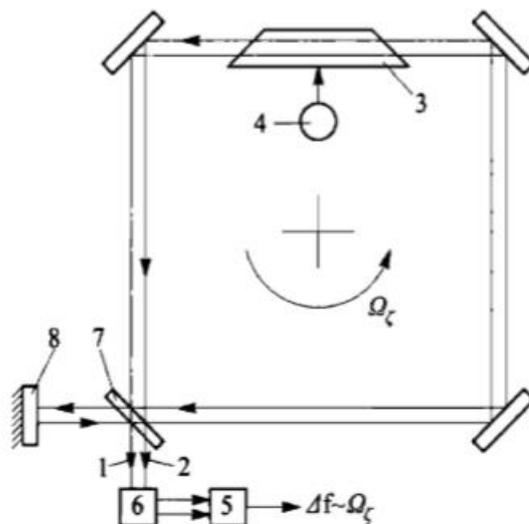


Рис. 94. Схема ЛДУС:

1, 2 — лучи; 3 — лазер; 4 — блок питания лазера; 5 — частотомер; 6 — фо-
 топриемник; 7, 8 — полупрозрачное и отражающее зеркала

Необходимым условием работы ЛДУС является выполнение основного условия генерации активного интерферометра, которое означает кратность периметра L длине световой волны λ генерируемого излучения с частотой f :

$$L = m\lambda = mc/f, \quad (112)$$

где $m \approx 10^5 \dots 10^6$ — целое число.

163

Наличие угловой скорости $\Omega_z \neq 0$ приводит к изменению длины путей лучей $L_2 > L_1$ (см. рис. 92), следовательно, и частот генерации $f_1 = mc/L_1$, $f_2 = mc/L_2$. При этом разность частот $\Delta f = f_1 - f_2$ (а не сдвиг фаз, как в ВОГ) пропорциональна измеряемой угловой скорости Ω_z . Интерференционная картина перемещается с частотой Δf , и на выходе фотоприемника δ возникает переменный ток, частота которого измеряется прибором δ и пропорциональна Ω_z .

Построим выходную характеристику ЛДУС и определим чувствительность h (масштабный коэффициент). Разность частот на выходе ЛДУС при $\Omega_z \neq 0$

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{mc}{L_1} - \frac{mc}{L_2} = mc \left(\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l} \right) = \frac{2lmc}{L^2 - l^2},$$

где $2l = L_2 - L_1 = 4S\Omega_z/c$.

165

При $l \ll L$

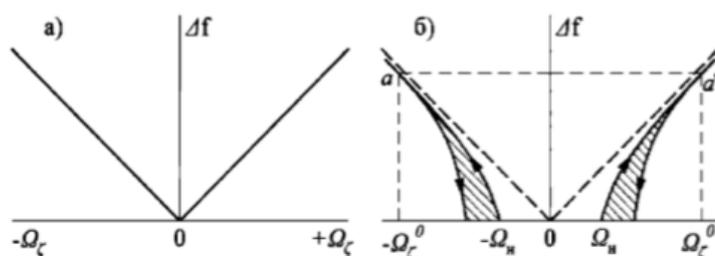
$$\Delta f \approx \frac{4Sm}{L^2} \Omega_z = \frac{4S}{L\lambda} \Omega_z = h\Omega_z, \quad (114)$$

где $h = \frac{4S}{L\lambda}$ — чувствительность ДУС.

Для квадратной формы контура со стороной квадрата a чувствительность $h = \frac{a}{\lambda}$.

Поскольку неон имеет минимальный размер волны λ (по сравнению с другими газами), то значение h велико (ср. с ВОГ).

На рис. 95, а показана идеальная выходная ЛДУС — прямые; видно, что съём сигнала, осуществляемый по частоте, не дает возможности определить знак угловой скорости Ω_z .



На рис. 95, б приведена фактическая выходная характеристика ЛДУС с учетом зоны гистерезиса (заштрихованная область), которая возникает вследствие неоднозначности энергетических связей волн. Гистерезис является причиной неоднозначности характеристики ЛДУС при возрастании и убывании Ω_z .