

Направления подготовки:	Авионика Аэронавигация Системная инженерия
Дисциплина:	Бортовые системы управления
Курс, семестр, уч. год:	3, весенний, 2011/2012
Кафедра:	301 – СУЛА
Руководитель обучения:	ассистент Копысов Олег Эдуардович

ЛЕКЦИЯ № 10

ТЕМА: ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Устройство и принцип действия датчика угловой скорости

Гироскопический датчик угловой скорости представляет собой гироскоп с двумя степенями свободы. При этом движение гироскопа относительно оси подвеса рамки ограничено упругой связью с корпусом прибора. Такой датчик угловой скорости условно можно отнести к приборам первого поколения. К более совершенным приборам относятся поплавковые приборы (второе поколение), приборы, созданные на новых физических принципах (третье поколение) – динамически настраиваемые, осцилляторные, лазерные и др.

С точки зрения простоты изучения устройства, принципа действия и характеристик наиболее целесообразным является рассмотрение датчика угловой скорости с механической пружиной. Кинематическая схема такого прибора приведена на рис. 10.1.

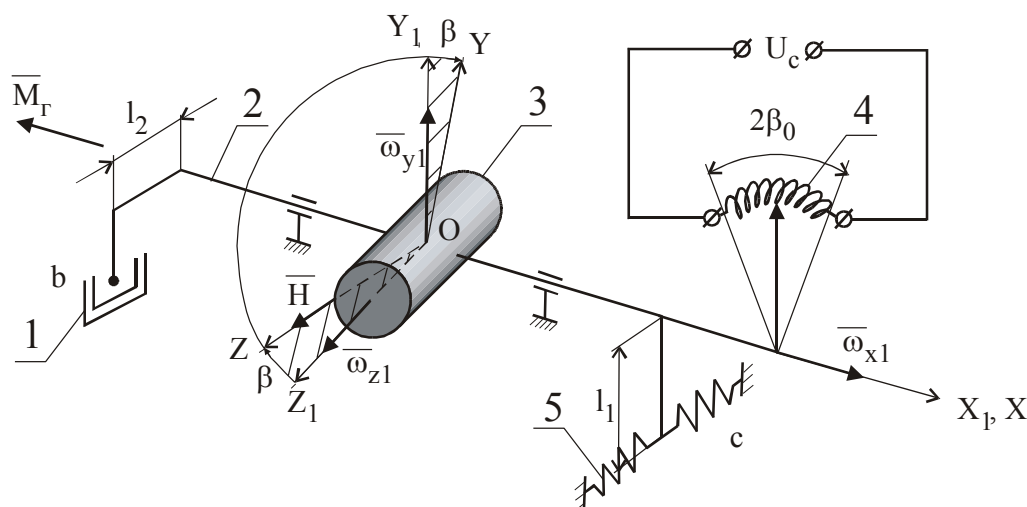


Рисунок 10.1 – Кинематическая схема датчика угловой скорости с механической пружиной

На рис. 10.1 введены следующие обозначения:

$OX_1Y_1Z_1$ – система координат, связанная с ЛА;

$OXYZ$ – система координат, связанная с гироскопом;

1 – демпфирующее устройство;

2 – ось подвеса рамы гиросузда;

3 – гиросузел;

4 – потенциметрический преобразователь угла поворота гиросузда;

5 – механическая противодействующая пружина.

Данный прибор предназначен для измерения угловой скорости ω_{y1} , поэтому ось OY является осью чувствительности (входной осью), ось OX – выходной осью прибора.

Принцип работы прибора заключается в следующем. При вращении ЛА относительно оси OY_1 с угловой скоростью ω_{y1} относительно оси OX возникает гироскопический момент $\overline{M}_z = \overline{H} \cdot \overline{\omega}$. Гироскопический момент стремится совместить кратчайшим путем вектор кинетического момента \overline{H} с вектором угловой скорости $\overline{\omega}_{y1}$. В результате этого гиросузел начнет поворачиваться относительно оси подвеса рамы (оси OX). При повороте гиросузда начинает деформироваться пружина 5 и создавать противодействующий момент $M_{пр}$. При равенстве $M_{пр} = M_g$ гиросузел будет находиться в уравновешенном состоянии. Этому состоянию будет соответствовать поворот гиросузда на угол β . С потенциметрического преобразователя в систему управления поступит сигнал, пропорциональный измеряемой угловой скорости ω_{y1} . рассматриваемый датчик угловой скорости выполнен по разомкнутой схеме. Поэтому его структурная схема представляет собой последовательное соединение двух звеньев – чувствительного элемента (гироскопа) и преобразующего элемента (потенциметра).

Найдем для ЧЭ связь выходного параметра – угла поворота гироскопа β со входным – угловой скоростью ω_{y1} . Запишем выражение для гироскопического момента:

Лекция № 10. Гироскопические датчики угловой скорости.

$$M_z = H\omega_{y1} \sin(\overline{H}, \overline{\omega_{y1}}) = H\omega_{y1} \cos \beta. \quad (10.1)$$

Для малых углов β момент от деформации пружины вокруг оси ОХ приближенно равен (см. рис. 10.2):

$$M_n = F \cdot l_1 = c \cdot x \cdot l_1 = cl_1 \sin \beta \cdot l_1 = c \cdot l_1^2 \cdot \beta, \quad (10.2)$$

где c – коэффициент жесткости пружины;

l_1 – плечо (расстояние от оси вращения ОХ до линии действия силы деформации пружины);

β – угол поворота ЧЭ.

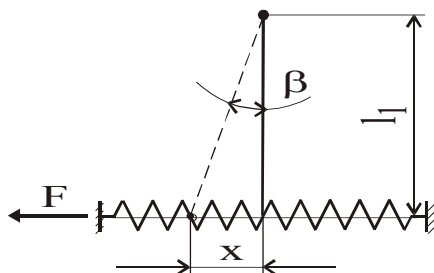


Рисунок 10.2 – К определению противодействующего момента пружины В положении равновесия

$$M_r = M_{pr}. \quad (10.3)$$

После подстановки (10.1) и (10.2) в (10.3) получим статическое значение угла отклонения $\beta_{ст}$ гироскопа от исходного положения относительно оси ОХ:

$$\beta_{ст} = \frac{H}{c \cdot l_1^2} \omega_{y1} \cos \beta_{ст}.$$

При малом значении $\beta_{ст}$ можно принять $\cos \beta_{ст} = 1$. Тогда

$$\beta_{ст} = \frac{H}{c \cdot l_1^2} \omega_{y1}$$

или

$$\beta_{ст} = \frac{H}{K_y} \cdot \frac{d\psi}{dt}, \quad (10.4)$$

где $K_y = c \cdot l_1^2$ – коэффициент упругости пружины;

$\frac{d\psi}{dt} = \omega_{y1}$ – угловая скорость ЛА при его повороте, например, на угол ψ отно-

сительно оси OY_1 .

Как видно из выражения (10.4) угол отклонения гироскопа $\beta_{ст}$ пропорционален измеряемой угловой скорости.

Для гашения собственных колебаний гиروزла предусмотрен демпфер 1 (см. рис. 10.1) с удельной силой демпфирования b . Для регистрации измеряемой угловой скорости в приборе предусмотрен потенциометрический преобразователь (ПЭ). При повороте гироскопа вокруг оси OX щетка потенциометра, укрепленная на гиروزле, скользит по обмотке потенциометра. Выходное напряжение снимается со щетки и со средней точки потенциометра и поступает в систему управления. Так как напряжение пропорционально углу поворота гиروزла $\beta_{ст}$, то можно записать

$$U_{вых} = U_c \frac{\beta_{ст}}{2\beta_0}, \quad (10.5)$$

где $2\beta_0$ – угол намотки потенциометра;

U_c – напряжение источника питания.

Из выражения (10.4) можно получить отношение угла поворота гиروزла относительно выходной оси к измеряемой угловой скорости:

$$h_{ЧЭ} = \frac{\beta_{ст}}{\omega_{y1}} = \frac{H}{k_y}, \quad (10.6)$$

где $h_{ЧЭ}$ – чувствительность первого звена прибора (ЧЭ).

Чувствительность второго звена прибора (ПЭ) получим из выражения (10.5):

$$h_{ПЭ} = \frac{U_{вых}}{\beta_{ст}} = \frac{U_c}{2\beta_0}. \quad (10.7)$$

Чувствительность всего прибора при последовательном соединении его звеньев равна произведению чувствительности отдельных его звеньев:

$$h_{ДУС} = \frac{U_{вых}}{\omega_{y1}} = \frac{1}{\omega_{y1}} \frac{U_c}{2\beta_0} \beta_{ст} = \frac{U_c}{2\beta_0} \frac{H}{k_y} = h_{ЧЭ} h_{ПЭ}, \quad (10.8)$$

или

$$h_{ДУС} = h_{ЧЭ} h_{ПЭ}. \quad (10.9)$$

Как видно из выражения (10.8), увеличение чувствительности прибора может

осуществляться за счет увеличения кинетического момента H и напряжения источника прибора U_c и уменьшения коэффициента упругости k_y . Идти по пути уменьшения коэффициента упругости k_y нежелательно. Это может увеличить динамические погрешности прибора и сократить частотный диапазон изменения угловой скорости ω_{y1} .

Получение уравнения динамики датчика угловых скоростей

Отклоним гиروزел на угол β_x и найдем проекции угловых скоростей на оси X, Y и Z гиروزла. При движении гиروزла к установившемуся значению он движется с угловой скоростью $\dot{\beta}$ и угловым ускорением $\ddot{\beta}$. При этом на гиروزел действуют следующие моменты относительно оси OX :

1. Инерционный момент M_u , равный

$$M_u = I_x (\ddot{\beta} - \dot{\omega}_{x1}), \quad (10.10)$$

где $\dot{\omega}_{x1}$ – переносное ускорение самолета относительно оси OX_1 ;

I_x – момент инерции гиروزла (рамки) прибора относительно оси OX .

2. Момент M_d , развиваемый демпфером. При малых углах β момент от демпфера равен

$$M_d = b l_2^2 \dot{\beta} = K_d \dot{\beta}, \quad (10.11)$$

где b – удельная сила демпфирования;

l_2 – расстояние от оси вращения OX до линии действия силы демпфирования;

$l_2 \dot{\beta}$ – линейная скорость движения поршня относительно цилиндра демпфера;

$b l_2^2 = K_d$ – коэффициент демпфирования.

3. Внешний суммарный момент M_v . Данный момент включает в себя момент сухого трения, несбалансированность гиروزла относительно оси OX и другие вредные моменты, вызывающие погрешность прибора.

4. Суммарный гироскопический момент M_g :

$$M_g = H \omega_y = H \omega_{y1} \cos \beta - H \omega_{z1} \sin \beta, \quad (10.12)$$

где ω_{z1} – угловая скорость по оси OZ_1 (перекрестная угловая скорость).

5. Инерционный момент центробежных сил:

$$M_{\text{цс}} = (I_z - I_y) \omega_y \omega_z = (I_z - I_y) \cdot (\omega_{y1} \cos \beta - \omega_{z1} \sin \beta) (\omega_{z1} \cos \beta + \omega_{y1} \sin \beta), \quad (10.13)$$

где I_y и I_z – моменты инерции гироскопа относительно осей OY и OZ .

Согласно принципу Даламбера сумма моментов, действующих на гироскоп, равна нулю. Уравнение динамики прибора получим, если в левой части оставим моменты, характеризующие собственное движение гироскопа, а в правую часть запишем моменты, характеризующие вынужденное движение:

$$I_x \ddot{\beta} + K_\delta \dot{\beta} + K_y \beta = H \omega_{y1} \cos \beta - H \omega_{z1} \sin \beta + I \dot{\omega}_{x1} - M_B - (I_z - I_y) (\omega_{y1} \cos \beta - \omega_{y1} \cos \beta) (\omega_{z1} \cos \beta + \omega_{y1} \cos \beta). \quad (10.14)$$

Если гирузел прибора выполнить симметрично относительно осей Y и Z , т.е. так, чтобы моменты инерции $I_y = I_z$, то уравнение (6.14) можно упростить:

$$I_x \ddot{\beta} + K_\delta \dot{\beta} + K_y \beta = H \omega_{y1} \cos \beta - H \omega_{z1} \sin \beta + I \dot{\omega}_{x1} - M_B. \quad (10.15)$$

Уравнение (10.15) является основным уравнением динамики датчика угловых скоростей. Так как прибор предназначен для измерения угловой скорости ω_{y1} , то момент

$$M_\Gamma = H \omega_{y1} \cos \beta,$$

является полезным. Все остальные моменты вызывают только погрешности прибора.

Погрешности датчика угловой скорости от перекрестной угловой скорости

Для исследования влияния на датчик перекрестной угловой скорости в исходной математической модели (10.15) положим $\dot{\omega}_{x1} = 0$ и $M_B = 0$. Тогда уравнение движения ЧЭ прибора с учетом перекрестной угловой скорости примет вид

$$I_x \ddot{\beta} + K_\delta \dot{\beta} + K_y \beta = H \omega_{y1} \cos \beta - H \omega_{z1} \sin \beta. \quad (10.16)$$

Лекция № 10. Гироскопические датчики угловой скорости.

Для дальнейших исследований примем, что угловые скорости ω_{y1} и ω_{z1} являются величинами постоянными ($\omega_{y1}=\text{const}$, $\omega_{z1}=\text{const}$), а $\sin\beta\approx\beta$, $\cos\beta=1$. Тогда для статического режима $\dot{\beta} = \ddot{\beta} = 0$ из (10.16) имеем следующее равенство

$$K_y \beta_{cm} = H \omega_{y1} - H \omega_{z1} \beta_{cm},$$

откуда

$$\beta_{cm} = \frac{H}{K_y} \frac{1}{1 + \frac{H \omega_{z1}}{K_y}} \omega_{y1} = \frac{h_{чЭ}}{1 + h_{чЭ} \omega_{z1}} \omega_{y1}, \quad (10.17)$$

где $h_{чЭ} = \frac{H}{K_y}$ – чувствительность ЧЭ прибора без влияния перекрестной угло-

вой скорости ω_{z1} .

Согласно выражению (10.17) чувствительность ЧЭ прибора равна

$$h_{чЭ}^* = \frac{h_{чЭ}}{1 + h_{чЭ} \omega_{z1}}. \quad (10.18)$$

Из выражения (10.18) видно, что перекрестная угловая скорость ω_{z1} приводит к изменению чувствительности прибора. Она падает или возрастает в зависимости от знака угловой скорости ω_{z1} . Ошибку в показаниях прибора от ω_{z1} можно учесть, если она постоянна. Если объект колеблется вокруг осей OY_1 и OZ_1 по гармоническому закону, то в показаниях прибора появляется погрешность от перекрестной угловой скорости ω_{z1} .

Волоконно-оптические гироскопы

Волоконно-оптический гироскоп – скоростной квантовый гироскоп, основанный на использовании эффекта Саньяка – смещения интерференционных полос во вращающемся кольцевом интерферометре. Это смещение возникает вследствие зависимости времени обхода светом вращающегося контура от скорости вращения и направления обхода. Согласно общей теории относительности, разность времени обхода вращающегося контура $\Delta\tau$ равна:

Лекция № 10. Гироскопические датчики угловой скорости.

$$\Delta\tau = (2/c^2) \cdot \oint \Omega r^2 [1 - (\Omega r/c^2)^2]^{-1} d\theta, \quad (10.19)$$

где Ω – угловая скорость вращения;

r, θ – полярные координаты точек контура.

Учитывая, что $\Omega r/c \ll 1$, $\Delta\tau$ можно записать в виде, который интерпретируется в рамках нерелятивистской кинематики:

$$\Delta\tau = 4S\Omega \cos \varphi / c^2, \quad (10.20)$$

где S – площадь контура;

φ – угол между осью вращения и нормалью к плоскости контура.

В результате величина сдвига интерференционных полос Δz определяется выражением:

$$\Delta z = 4S \cos \varphi / \lambda_0 c, \quad (10.21)$$

где λ_0 – длина волны света в вакууме.

Регистрация малых угловых скоростей вращения требует большой площади контура, поэтому практическое использование эффекта Саньяка стало осуществимым лишь с появлением волоконных световодов.

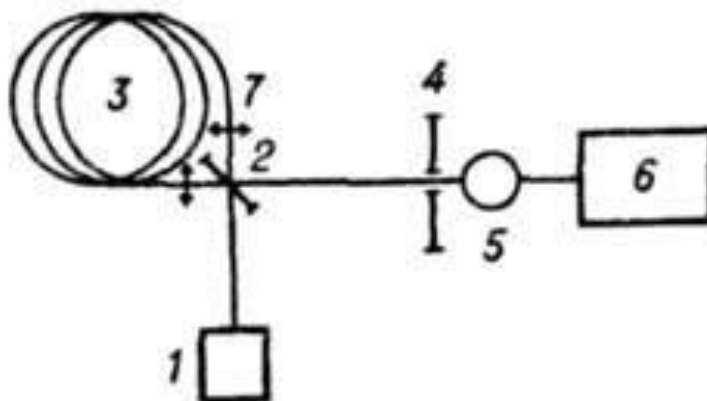


Рисунок 10.3 – Схема волоконно-оптического гироскопа

1 – источник света;

2 – светоделительная пластинка;

3 – катушка с оптическим волокном;

4 – диафрагма;

5 – фотоприёмник;

лекция № 10. 1 гироскопические датчики угловой скорости.

6 – схема обработки информации;

7 – микрообъективы.

Чувствительным элементом волоконно-оптического гироскопа является многовитковая катушка со специальным волоконным световодом, обеспечивающим стабильность поляризаций и разности фаз интерферирующих волн. Сдвиг интерференционных полос пропорционален числу витков световода в катушке, не зависит от положения оси вращения относительно центра катушки, от формы площади катушки S , от показателя преломления световода (без учёта дисперсии) и записывается в виде:

$$\Delta z = 2L_c R \Omega \cos \varphi / \lambda_0 c, \quad (10.22)$$

где L_c – длина световода;

R – радиус катушки.

Для увеличения точности волоконно-оптических гироскопов используется ряд методов. Так, например, флуктуации интерференционных полос из-за рэлеевского рассеяния и невзаимные сдвиги фаз за счёт разности интенсивностей встречных волн могут быть уменьшены при использовании источников излучения с широким спектром – полупроводниковых лазеров или суперлюминесцентных диодов. Влияние невзаимных эффектов из-за изменения двойного лучепреломления в волокне при различных внешних воздействиях (механических, тепловых, акустических и пр.) может быть ослаблено при использовании одномодовых световодов. Т. к. прямое измерение сдвига интерференционной полосы сильно ограничивает точность и динамический диапазон, в реальных гироскопах применяются более сложные методы регистрации, использующие фазовую модуляцию, фазовую компенсацию, гетеродинные методы и т. д.

Предельная чувствительность волоконно-оптического гироскопа ($\sim 10^{-4}$ град/ч) ограничивается нестабильностью характеристик оптического волокна, рассеянием света в нём, шумами фотоприёмника. Достоинства волоконно-оптического гироскопа – малые габариты и вес, дешевизна.

Лазерные гироскопы

Лазерный гироскоп (фотонный гироскоп) – квантовый гироскоп, чувствительным элементом которого является кольцевой лазер, генерирующий 2 встречные волны. Действие лазерного гироскопа основано на зависимости разности собственных частот кольцевого оптического резонатора для встречных волн от скорости его вращения относительно инерциальной системы отсчёта. В отличие от волоконно-оптического гироскопа, регистрирующего угловую скорость вращения, лазерный гироскоп позволяет определять изменение угла поворота.

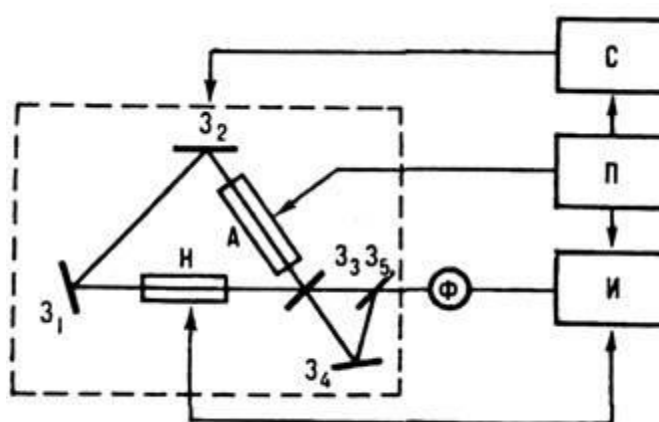


Рисунок 10.4 – Принципиальная схема лазерного гироскопа

$Z_1 - Z_3$ – зеркала;

А – активная среда;

Z_4, Z_5 – зеркала смесителя встречных волн (Z_6 – полупрозрачное);

Н – невзаимный элемент;

Ф – фотодетектор;

П – блок питания;

С – система стабилизации параметров лазера;

И – система обработки информации.

Резонатор кольцевого лазера состоит из 3 (или 4) отражателей (зеркал или призм), установленных на жёстком основании и обеспечивающих замкнутую траекторию (треугольник или прямоугольник) для встречных волн (рис. 10.4). Возникновение разности частот встречных волн следует из зависимости времени обхода светом

Лекция № 10. Гироскопические датчики угловой скорости.

том вращающегося контура от скорости вращения и направления обхода. Согласно общей теории относительности, разность времён обхода вращающегося контура $\Delta\tau$ (в приближении малости линейной скорости вращения по сравнению со скоростью света c) записывается в виде, который может быть интерпретирован и в рамках классической кинематики:

$$\Delta\tau = \tau_0 \frac{4S\Omega}{cL} \cos \vartheta. \quad (10.23)$$

Здесь τ_0 – время обхода неподвижного контура;

S, L – площадь и оптический периметр контура (с учётом показателя преломления);

Ω – угловая скорость вращения (в рад/с);

ϑ – угол между осью вращения и нормалью к плоскости контура.

Т. к. $\Delta\tau$ связана с различием оптических путей встречных волн соотношением $\Delta\tau/\tau_0 = \Delta L/L$, а L определяет собственные частоты резонатора, частоты вращающегося кольцевого резонатора для встречных волн ν_{\pm} (+ для волны, распространяющейся по направлению вращения) становятся разными:

$$\nu_{\pm} = \nu_0 \mp 2\nu_0 \frac{S\Omega}{cL} \cos \vartheta. \quad (10.24)$$

Здесь $\nu_0 = mc/L$ – частота волн в неподвижном резонаторе (m – целое число). Разность ($\nu_- - \nu_+$) не зависит от формы контура, положения оси вращения относительно центра резонатора и может быть записана в виде

$$\Delta\nu = \nu_- - \nu_+ = K\Omega \cos \vartheta \text{ (Гц)}, \quad (10.25)$$

где $K = 4S/\lambda_0 L$ – масштабный коэффициент лазерного гироскопа;

$\lambda_0 = (\lambda_+ + \lambda_-)/2$ – длина волны излучения покоящегося лазерного гироскопа.

Разностная частота $\Delta\nu$ ($\sim 10^{-2} - 10^5$ Гц) выделяется фотодетектором при пространственном совмещении (смещении) небольшой части энергии ($\lesssim 0,1\%$) встречных световых волн ($\nu_{\pm} \sim 10^{14}$ Гц), выведенной из кольцевого резонатора (Z_1, Z_2, Z_3) через выходное частично прозрачное зеркало Z_3 . Смеситель состоит из зеркал Z_4, Z_5 (Z_5 – полупрозрачное) или специальной призмы с углом при вершине $\simeq 90^\circ$. Синусоидальный сигнал на выходе фотодетектора преобразуется в измерительном

Лекция № 10. Гироскопические датчики угловой скорости.

устройстве в последовательность импульсов, регистрируемых счётчиком. Число импульсов пропорционально углу поворота в плоскости кольцевого лазера.

Большая величина K позволяет измерять малые скорости вращения при небольших размерах лазерного гироскопа. Например, для кольцевого гелий-неонового лазера ($\lambda_0 = 6,328 \times 10^{-6}$ см), имеющего резонатор в виде квадрата со стороной 10 см, $K = 1,58 \cdot 10^5$. При этом суточное вращение Земли, происходящее с угловой скоростью 15 град/ч и регистрируемое на широте 60° , должно давать $\Delta\nu \simeq 10$ Гц. Считая угловую скорость вращения Земли известной и постоянной, можно с точностью $\sim 1'$ определить широту, на которой расположен лазерный гироскоп.

С квантовомеханической точки зрения лазерный гироскоп представляет собой прибор, вращение которого вызывает изменение энергий $h\nu_{\pm}$ и орбитальных моментов L_{\pm} макроскопических "орбит" фотонов, распространяющихся во встречных направлениях:

$$h\nu_{\pm} = h\nu_0 \mp l_{\pm}\Omega, \quad (10.26)$$

где $l_{\pm} = h\nu_{\pm} \langle R \rangle / c$ – величины проекций орбитальных моментов на нормаль к плоскости кольцевого резонатора;

$\langle R \rangle = 2S/L$ – эффективный радиус орбиты.

Из (10.26) следует, что $\Delta\nu = \nu_0 4S\Omega / cL$. Учитывая, что $\nu_0/c = \lambda_0^{-1}$, получим выражение (10.25).

Зависимость $\Delta\nu(\Omega)$ (выходная характеристика лазерного гироскопа, рис. 10.5) в реальном кольцевом лазере отличается от (10.25) из-за влияния нелинейных свойств активной среды и наличия связи встречных волн вследствие обратного рассеяния. В области малых Ω связь встречных волн приводит к захвату их частот. Поэтому выходная характеристика лазерного гироскопа имеет область нечувствительности к вращению (зону захвата Ω_{01} и Ω_{01}). Кроме того, зависимость $\Delta\nu(\Omega)$ имеет гистерезисный характер: частоты, соответствующие входу в зону захвата (Ω_0) и выходу из неё (Ω_{01}), различны. При изменении величины обратного рассеяния R и фазы ϵ рассеянных волн $\Delta\nu$ изменяется в пределах

$$\Delta\nu = K (\Omega^2 \mp \Omega_0^2)^{1/2} \quad (|\Omega| \geq \Omega_0), \quad (10.27)$$

где $\Omega_0(R, \varepsilon)$ – величина зоны захвата ($\Delta\nu=0$ при $|\Omega| < \Omega_0$).

Для лучших лазерных гироскопов $\Omega_0 \leq 10^{-3}$ рад/с.

Для регистрации малых Ω в лазерных гироскопах создаётся начальное частотное расщепление встречных волн $\Delta\nu_0$ с помощью небольших ($\Delta\varphi \sim 1'$) в общем случае непериодических угловых колебаний кольцевого лазера. Начальное расщепление может быть создано также с помощью помещаемых внутрь кольцевого резонатора частотных невзаимных элементов. Наиболее часто используются невзаимные элементы на основе эффекта Фарадея.

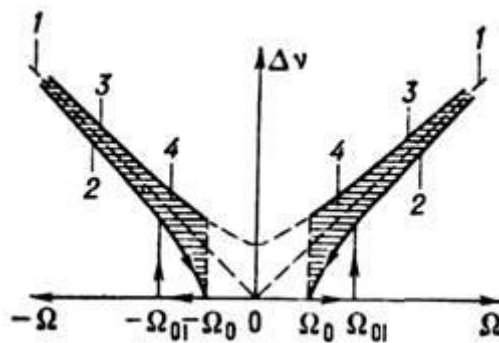


Рисунок 10.5 – Частотные характеристики лазерного гироскопа

1 – идеальная ($\Delta\nu = K\Omega \cos \varphi$);

2, 3 – теоретические [$\Delta\nu = K(\Omega^2 \pm \Omega_0^2)^{1/2} \cos \varphi$];

4 – область реальной характеристики.

В качестве активной среды в гироскопе обычно используется газовая смесь двух изотопов неона (^{20}Ne , ^{22}Ne) с He, характеризующаяся неоднородно уширенной линией рабочего перехода. Это позволяет устранить конкурентное взаимодействие встречных волн и получить высокую стабильность. Исследуются кольцевые лазеры с кристаллической или стеклообразной активной средой.

Предельная точность измерения $\Omega \sim 10^{-4}$ град/ч определяется естественными флуктуациями разности частот встречных волн в кольцевом лазере. В реальных гироскопах достигается погрешность измерения $\Omega \sim 10^{-2} - 10^{-3}$ град/ч при времени измерения ~ 1 с.

Преимущества лазерного гироскопа перед традиционными механическими гироскопами: возможность использования в системах, где гироскоп жёстко связан с движущимся объектом; цифровой выход информации; большой диапазон Ω ; малая чувствительность к перегрузкам и малое время (~ 1 с) запуска.

Внешний вид лазерных гироскопов приведен на рис. 10.6.



Рисунок 10.6 – Внешний вид лазерных гироскопов

Вибрационные гироскопы

Вибрационный гироскоп – прибор для определения угловой скорости объекта, содержащий реагирующие на вращение объекта вибрирующие детали. Различают вибрационные гироскопы стержневого и роторного типа. У гироскопов стержневого типа чувствительным элементом являются некоторые вибрирующие массы, например стержни, подобные ветвям камертона.

Один из вибрационных гироскопов стержневого типа, получивший практическое применение, называется гиротроном. Его чувствительным элементом (см. рис. 10.7) является вибратор, состоящий из стержней 1, упругого торсиона 2, связывающего стержни с основанием 3 вибратора, пластинки 4, жестко скрепленной с торсионом и перемещающейся в поле катушек 5, укрепленных на основании 3. Ветви вибратора-камертона с помощью специальной электрической схемы приводятся в колебательное движение. Если при этом объект вместе с основанием 3 вибратора

поворачивается вокруг оси $O\xi$ с угловой скоростью ω_ξ , то возникает момент сил инерции, вызывающий крутильные колебания вибратора вокруг оси $O\xi$. При этом пластинка 4 колеблется между катушками 5; амплитуда колебаний пропорциональна угловой скорости ω_ξ . Значение ω_ξ снимают с катушек 5 с помощью радиотехнических методов. Прибор обладает рядом достоинств: отсутствие карданова подвеса, вращающихся и трущихся частей; наличие одной оси чувствительности; линейность показаний; высокая надёжность и др.

Принцип работы роторного вибрационного гироскопа аналогичен, но вместо стержней и пластин вибрирующим элементом является вращающийся ротор с упругим подвесом. Однако создание гироскопа сопряжено с рядом технических трудностей. Возможности применения вибрационных гироскопов весьма разнообразны. Наиболее просто прибор используется в качестве измерителя угловой скорости объекта. Они могут также найти применение в системах гироскопической стабилизации, в инерциальных навигационных системах и других областях гироскопической техники.

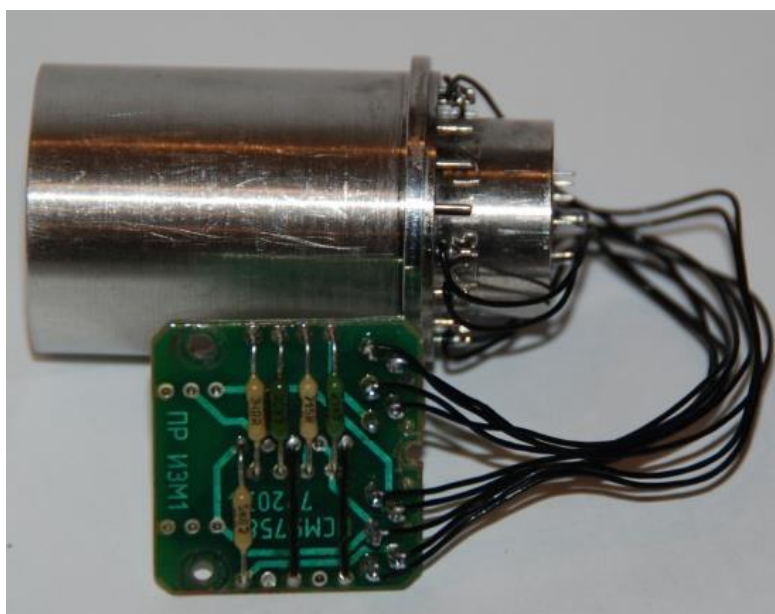
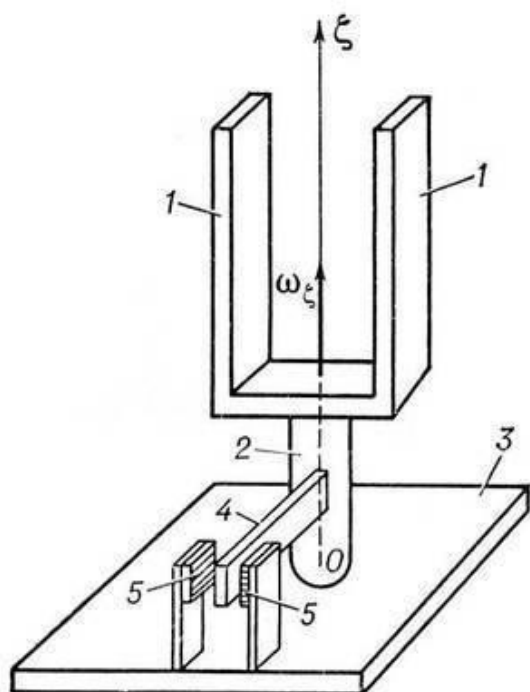


Рисунок 10.8 – Вибрационный гироскоп

Размещение датчиков угловых скоростей на летательных аппаратах

При размещении датчиков угловых скоростей на самолетах необходимо учитывать, что самолеты не являются абсолютно жестким телом. Корпусы современных самолетов во время полета под действием аэродинамических сил совершают упругие изгибные колебания (рис. 10.9).

Чувствительные элементы систем управления воспринимают упругие колебания и подают их как ложные сигналы для отклонения рулей. Частота первого тона упругих колебаний самолета обычно значительно ниже частоты собственных колебаний датчика угловых скоростей.

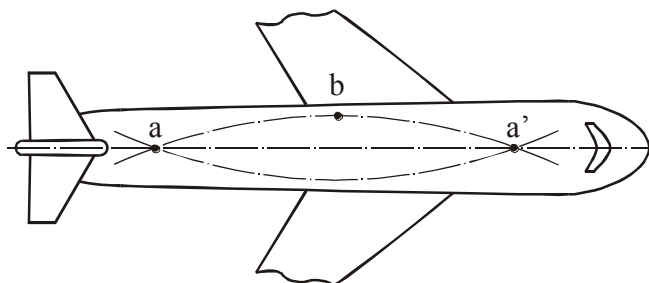
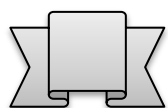


Рисунок 10.9 – Упругая линия самолета

Поэтому, если датчик угловых скоростей разместить в узловой точке (точке а) упругой оси самолета, то он будет измерять и угловую скорость вращения самолета и угловую скорость изгибных колебаний. Чтобы датчик угловых скоростей не чувствовал угловой скорости изгибных колебаний он должен устанавливаться в точке пучности (точка b) упругой линии.



Привести технические характеристики рассмотренных типов гироскопических датчиков угловой скорости как отечественных, так и зарубежных.

Термины для занесения в тезаурус: волоконно-оптический гироскоп, вибрационный гироскоп, лазерный гироскоп.