

1. методические погрешности ДУС

Стр. 123 (122)

с электропружиной можно создать прецизионный прибор (ср. со схемой ДУС с механической пружиной).

ДУС с цифровым выходом информации строятся, как правило, на базе ДУС с электропружиной. При этом обратная связь может быть цифровой и аналоговой (см. рис. 68); в последнем случае вводят аналогово-цифровое преобразование сигнала.

Определим приведенную угловую жесткость электропружины. Момент ДМ

$$M_{\text{ДМ}} = \frac{K_{\text{ДМ}} U_{\text{ус}}}{R_c} = \frac{K_{\text{ДУ}} K_{\text{ус}} K_{\text{ДМ}}}{R_c} \beta = K \beta,$$

где $K = \frac{K_{\text{ДУ}} K_{\text{ус}} K_{\text{ДМ}}}{R_c}$ — приведенная угловая жесткость электропружины.

Составим уравнения движения двухстепенного ДУС. Определим инерционные и внешние моменты, действующие вокруг оси Ox :

1) момент инерции гироузла как твердого тела $(A + A_1)(\dot{\Omega}_\xi + \ddot{\beta}) = A_0(\dot{\Omega}_\xi + \ddot{\beta})$, где A — экваториальный момент инерции ротора; A_1 — момент инерции рамки гироскопа относительно оси Ox ; $\dot{\Omega}_\xi$ — угловое ускорение объекта относительно оси Ox ; $A_0 = A + A_1$ — приведенный момент инерции гироузла относительно Ox ;

2) центробежный момент инерции гироузла $M_{\text{ц}} = -C_0 \Omega_z \Omega_y + B_0 \Omega_y \Omega_z = -(C_0 - B_0) \Omega_y \Omega_z$, где $C_0 = C + C_1$, $B_0 = A + B_1$ — приведенные моменты инерции гироузла относительно осей Oy и Oz (B_1 , C_1 — моменты инерции рамки относительно осей Oy и Oz ; C — полярный момент инерции ротора); $\Omega_y = \Omega_\zeta \cos \beta - \Omega_\eta \sin \beta$; $\Omega_z = \Omega_\eta \cos \beta + \Omega_\zeta \sin \beta$ — проекции угловой скорости на оси Oy и Oz (см. рис. 68);

3) гироскопический момент $M_{\text{г}} = -H \Omega_y = -H \Omega_\zeta \cos \beta + H \Omega_\eta \sin \beta$;

4) моменты внешних сил $M_x = M_{\text{пр}} + M_{\text{д}} + M_x^{\text{вп}}$, где $M_{\text{пр}} = K \beta$ — упругий момент; $M_{\text{д}} = D \dot{\beta}$ — демпфирующий момент; $M_x^{\text{вп}}$ — вредный момент (момент сил трения в опорах

гироузла, момент разбалансировки, момент магнитной природы, момент токоподводов и т. д.).

Уравнение движения ДУС

$$A_0(\ddot{\beta} + \dot{\Omega}_\xi) - (C_0 - B_0)\Omega_y\Omega_z - H\Omega_z \cos \beta + H\Omega_\eta \sin \beta + D\dot{\beta} + K\beta + M_x^{\text{вп}} = 0.$$

Пренебрегая центробежным моментом инерции, получим

$$A\ddot{\beta} + D\dot{\beta} + K\beta = H\Omega_z \cos \beta - H\Omega_\eta \sin \beta - A_0\dot{\Omega}_\xi - M_x^{\text{вп}}. \quad (81)$$

Статическое решение уравнения (при $\Omega_\eta = 0$, $\dot{\Omega}_\xi = 0$, $M_x^{\text{вп}} = 0$) и малых β : $\beta = \frac{H}{K}\Omega_z \cos \beta \approx \frac{H}{K}\Omega_z$, что совпадает с выражением (80).

Перекрестная угловая скорость Ω_η является причиной погрешности ДУС:

$$\beta \approx \frac{H}{K + H\Omega_\eta}\Omega_z \approx \frac{H}{K}\Omega_z - \frac{H^2\Omega_\eta\Omega_z}{K(K + H\Omega_\eta)}.$$

Погрешность измерения, вызванная Ω_η , исчезает при $\beta \rightarrow 0$ или при применении кинематически связанных (с передаточным отношением $i = 1$) двух гироскопов с разнонаправленными кинетическими моментами $H_1 = H_2 = H$ [2].

Погрешность $\frac{A_0\dot{\Omega}_\xi}{K}$, вызванная ускорением $\dot{\Omega}_\xi$, обычно мала. Если имеется информация об угловом ускорении $\dot{\Omega}_\xi$ (например, при наличии ДУС), то возможна компенсация этой погрешности при обработке информации ДУС.

В случае действия вредных моментов измерение Ω_z может быть осуществлено при очевидном условии: $H\Omega_{z\text{min}} \cos \beta > M_x^{\text{вп}}$.

Величину $\Omega_{z\text{min}}$ называют порогом чувствительности ДУС; при малых β

$$\Omega_{z\text{min}} = M_x^{\text{вп}}/H. \quad (82)$$

Равенство (82) имеет вид формулы ССП гироскопа. Если в качестве опор гироузла используют прецизионные шарикоподшипники, то вредные моменты определяются в основном

моментами сил трения, разбалансировки, токоподводов. Тогда модель погрешности ДУС при действии линейных перегрузок можно определить формулой (41). Для таких ДУС обычно $\omega_0 = 0,5 \dots 5,0$ °/ч. В целях уменьшения моментов сил трения применяют поплавковые двухстепенные гироскопы (см. рис. 20). В этих приборах архимедова сила разгружает опоры гиросузда, в качестве которых применяют камневые или виброопоры, магнитные подвесы. Основной нагрузкой на опоры поплавкового гироскопа являются гироскопический момент $H\Omega_{\xi}$ и остаточная плавучесть $\Delta G = G - G_a$, которые составляют малую величину. Это позволяет добиться высокой точности для поплавковых гироскопов (до $10^{-1} \dots 10^{-3}$ °/ч). Зазор $\delta \approx 1$ мм, что на порядок больше значения δ ПИГ.

Выше рассмотрены так называемые статические погрешности; при этом погрешности, вызванные Ω_z и $\dot{\Omega}_{\xi}$, относят к методическим, а погрешности, которые связаны с нестабильностью чувствительности, вредными моментами, — к инструментальным, подчеркивая их зависимость от конструкции и технологии изготовления гироскопа.

Рассмотрим приближенную модель погрешности сферического гироскопа. Классический сферический гироскоп (рис. 33) представляет собой быстровращающуюся сферу, подвешенную с помощью бесконтактного подвеса — электростатического (рис. 34), газового, жидкостного и др. Сферический гироскоп может быть чувствительным элементом БИНС, ИНС, систем ориентации и гиросtabilизаторов. К сферическим относятся также гироскопы головок самонаведения, имеющие сферический шарикоподшипниковый подвес.

Положение сферы ($Ox'y'z'$) определяется углами α , β , φ (рис. 33, а) относительно базовой СК $O\xi\eta\zeta$.

55

Условие устойчивости сферического гироскопа, при котором затухают нутационные колебания, имеет вид

$$CD_x > AD_z,$$

где C, A — осевой и экваториальный моменты инерции ротора ($Ox'y'z'$ — главные оси инерции; в дальнейшем штрих опускаем); D_x, D_z — удельные демпфирующие моменты (относительно осей Ox' и Oz').

При $D_x = D_z$ необходимо обеспечить $C > A$ путем утолщения сферы по экватору (рис. 33, б) или с помощью технологического пояска (рис. 33, в). При анализе точности устойчивого сферического гироскопа можно пользоваться прецессионными уравнениями, считая $H = \text{const}$.

56

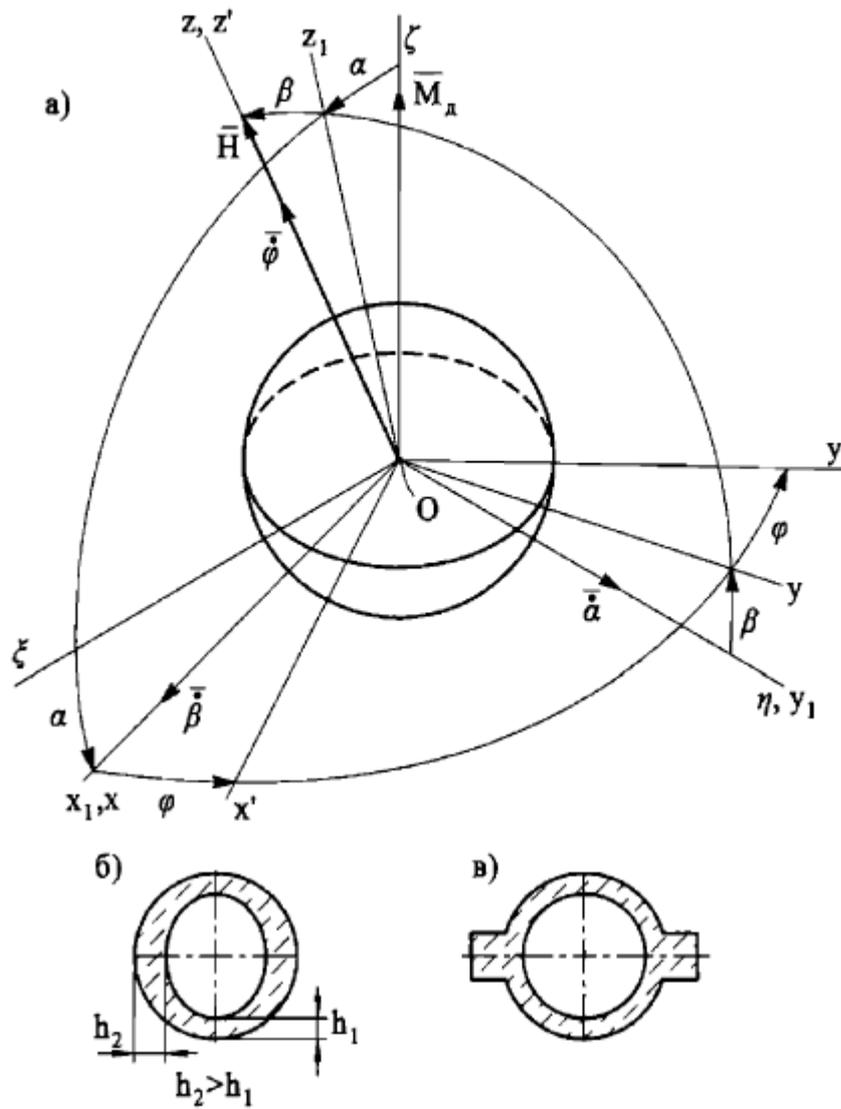


Рис. 33. К выводу уравнений движения сферического гироскопа

Полагая СК $O\xi\eta\zeta$ неподвижной, найдем абсолютные угловые скорости при малых α и β :

$$\omega_x \approx \dot{\beta};$$

$$\omega_y = \dot{\alpha} \cos \beta \approx \dot{\alpha}.$$

Проекции момента M_g двигателя, направленного по оси $O\zeta$ (оси статора двигателя) на оси Ox и Oy :

$$M_x = -M_d \sin \alpha \approx -\alpha M_d;$$

$$M_y = M_d \cos \alpha \sin \beta \approx \beta M_d.$$

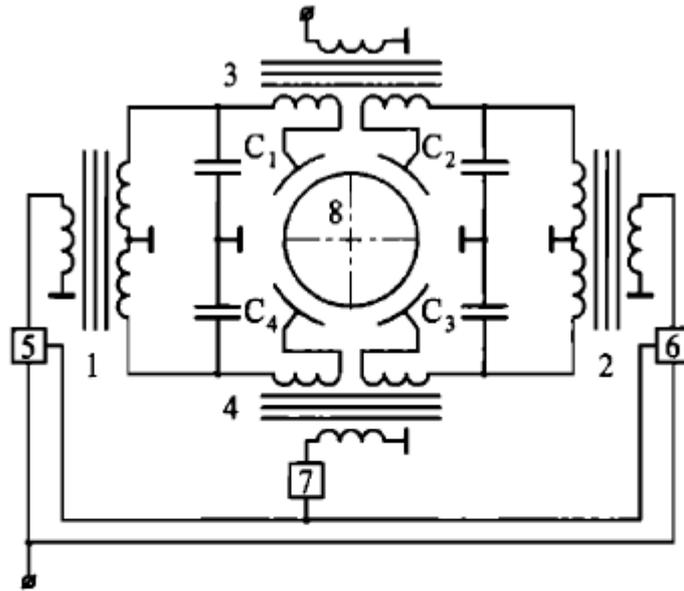


Рис. 34. Принципиальная схема электростатического гироскопа: 1, 2 — элементы питания; 3, 4 — элементы системы определения положения ротора (датчики положения); 5, 6 — усилители мощности; 7 — фазочувствительный усилитель; 8 — ротор; C_1 — C_4 — разделительные конденсаторы

Прецессионные уравнения движения гироскопа для СК *Охуз*:

$$\begin{aligned} \Sigma M_x &= 0; & -H\dot{\alpha} - \alpha M_d + M_x &= 0; \\ \Sigma M_y &= 0; & H\dot{\beta} + \beta M_d + M_y &= 0, \end{aligned}$$

где M_x , M_y — внешние (вредные, управляющие) моменты.

После преобразования уравнений получим

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} + \varepsilon\alpha &= \omega_{\text{ССП}}; \\ \dot{\beta} + \varepsilon\beta &= \omega'_{\text{ССП}}, \end{aligned} \quad (43)$$

где $\varepsilon = M_d/H$ — удельная скорость прецессии сферического гироскопа, вызванная моментом двигателя; $\omega_{\text{ССП}} = \frac{M_x}{H}$;

$\omega'_{\text{ССП}} = -\frac{M_y}{H}$ — ССП под действием вредных моментов M_x , M_y .

При $M_x = M_y = 0$ решение (43) имеет вид $\alpha = \alpha_0 e^{-\varepsilon t}$; $\beta = \beta_0 e^{-\varepsilon t}$, где α_0 , β_0 — углы, характеризующие начальное положение оси ротора при $t = 0$.

Траектория апекса на картинной плоскости — прямая $\alpha = \frac{\alpha_0}{\beta_0} \beta$, т. е. ось гироскопа «корректируется» моментом дви-