

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 531.385

ГИРОСТАБИЛИЗАТОРЫ НА ВОЛНОВЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ГИРОСКОПАХ**Распопов В.Я.**ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Рассмотрены принципы и особенности работы гиростабилизатора на волновом твердотельном гироскопе (ВТГ), работающего в режимах датчика угловой скорости (ВТГ-ДУС) и интегрирующего гироскопа (ВТГ-ИГ).

Введение. Принцип работы волновых твердотельных гироскопов (ВТГ) основан на использовании инертных свойств упругих волн, возбуждаемых в виде радиальных колебаний на второй моде в полусферическом, цилиндрическом или кольцевом резонаторах [1, 2].

Брайен Г.Х. в 1890 г. показал, что при вращении вибрирующей оболочки в результате действия инерционных сил Кориолиса происходит расщепление собственной частоты основной формы изгибных колебаний её стенок, что приводит к прецессии стоячей волны как относительно оболочки, так и в инерциальном пространстве.

Определяя положение стоячей волны, зависящее от угловой скорости Ω относительно корпуса, можно получить информацию об угле поворота и угловой скорости основания в инерциальном пространстве.

Передаточные функции ВТГ-ДУС и ВТГ-ИГ, работающих в разомкнутом контуре, имеют соответственно вид

$$W_{\text{ДУС}}(s) = K_M W_{\text{ЭБ}}(s);$$

$$W_{\text{ИГ}} = \frac{K}{s} W_{\text{ЭБ}}(s),$$

где $K_M = 4KQ/\omega_0$; K – масштабный коэффициент резонатора ВТГ; Q, ω_0 – добротность и собственная частота колебаний резонатора; $W_{\text{ЭБ}}(s)$ – передаточная функция электронного блока обработки сигналов.

Для повышения точности измерений возможна работа ВТГ в замкнутом контуре, который обеспечивает сведение выходных перемещений кромки резонатора к нулю. В этом случае выходным сигналом является значение компенсационного напряжения.

Результаты. Уравнения движения двухосного гиростабилизатора имеют вид [3]:

$$\left. \begin{aligned} A\ddot{\alpha} + b_p\dot{\alpha} + M_{\text{д1}} &= M_p; \\ B\ddot{\beta} + b_n\dot{\beta} + M_{\text{д2}} &= M_n; \end{aligned} \right\}$$

где A, B – моменты инерции гиростабилизатора относительно осей подвеса; b_p, b_n – коэффициенты вязкого трения по осям подвеса;

α – угол, определяющий положение рамы гиростабилизатора относительно корпуса; β – угол, определяющий положение платформы, на которой установлены ВТГ, относительно рамы.

$$M_{\text{д1}} = K_M K_p \dot{\alpha}; M_{\text{д2}} = K_M K_n \dot{\beta} \text{ – для ВТГ – ДУС};$$

$$M_{\text{д1}} = K K_p \int \dot{\alpha} d\tau; M_{\text{д2}} = K K_n \int \dot{\beta} d\tau; \text{– для ВТГ – ИГ.}$$

$M_{\text{д1}}, M_{\text{д2}}$ – моменты двигателей стабилизации относительно осей подвеса рамы и платформы.

$K_p = K_{\text{эб1}} K_{y1} K_{\text{дс1}}$; $K_n = K_{\text{эб2}} K_{y2} K_{\text{дс2}}$ – коэффициенты передачи по каналам стабилизации в предположении, что электронные блоки, усилители и безредукторные двигатели стабилизации не имеют инерционности;

M_p, M_n – возмущающие моменты.

При отсутствии перекрёстных связей между каналами они идентичны. Уравнение движения по каналу стабилизации для оси подвеса рамы с ВТГ – ДУС:

$$A\ddot{\alpha} + (b_p + K_M K_p)\dot{\alpha} = M_p. \quad (1)$$

В соответствии с уравнением (1) его передаточная функция имеет вид:

$$\frac{\alpha(s)}{M_p(s)} = \frac{1}{s(As + b_p + K_M K_p)}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что под действием момента M_p гиростабилизатор в установившемся режиме имеет дрейф с угловой скоростью:

$$\dot{\alpha} = \omega_{\text{др1}} = M_p / (b_p + K_M K_p).$$

Аналогично для второго канала стабилизации имеется угловая скорость дрейфа:

$$\dot{\beta} = \omega_{\text{др2}} = M_n / (b_n + K_M K_n).$$

Уравнение движения гиростабилизатора по оси подвеса рамы для случая применения ВТГ – ИГ:

$$A\ddot{\alpha} + b_p\dot{\alpha} + K K_p \int \dot{\alpha} d\tau = M_p. \quad (3)$$

В уравнении (3) введём замену $\dot{\alpha}(t) = x(t)$ и запишем передаточную функцию:

$$\frac{x(s)}{M_p(s)} = \frac{K_0(s)}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}, \quad (4)$$

где $K_0 = 1/K K_p$, $T = \sqrt{A/K K_p}$, $\xi = b_p/2\sqrt{A K K_p}$.

В соответствии с (4) гиросtabilизатор не имеет в установившемся режиме дрейфа. Аналогичный результат имеет место и для второго канала стабилизации по оси подвеса платформы. Однако, как следует из (3), соответствующее ему характеристическое уравнение имеет один нулевой корень, то есть по угловым координатам гиросtabilизатор не обладает астатизмом. Действительно, учитывая, что $\int_0^t \dot{\alpha} dt = \alpha(t)$, из уравнения (3) следует передаточная функция по углу:

$$\frac{\alpha(s)}{M_p(s)} = \frac{K_0}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}. \quad (5)$$

Следовательно, в установившемся режиме гиросtabilизатор имеет статическую ошибку $\alpha_{ст} = M_p / KK_p$, аналогичную статической ошибке гиросtabilизатора с трёхстепенным астатическим гироскопом.

Оценку поведения гиросtabilизатора на качающемся основании можно выполнить на примере уравнений движения гиросtabilизатора по одному каналу, полагая, что качка происходит по углу γ относительно оси подвеса рамы:

$$\left. \begin{aligned} A\ddot{\alpha} + b_p \dot{\alpha} + J_p i^2 \ddot{\gamma} &= M_p - iM_{д1}; \\ M_{д1} &= KK_p \alpha - ih_p \alpha_1; \\ \alpha_1 &= \gamma - \alpha, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где J_p – осевой момент инерции ротора двигателя стабилизации; h_p – коэффициент вязкого трения в подшипниках ротора; α_1 – угол поворота рамы гиросtabilизатора относительно основания.

Объединяя уравнения (6), получим передаточные функции по возмущающему моменту и углу качки:

$$\frac{\alpha(s)}{M_p(s)} = \frac{1}{As^2 + b_p s + i(KK_p + ih_p)}, \quad (7)$$

$$\frac{\alpha(s)}{\gamma(s)} = -\frac{i^2(J_p s^2 - h_p)}{As^2 + b_p s + i(KK_p + ih_p)}. \quad (8)$$

УДК 616-77, 681.2

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГОЭЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРТЕРИАЛЬНОЙ СТЕНКИ НА ФАНТОМАХ

Савченко А.Л., Минченя В.Т., Минченя Н.Т.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Как известно [1], окклюзионно-стенозирующие поражения магистральных артерий крупного и среднего калибра, наблюдающиеся при таких заболеваниях как, облитерирующий атеросклероз нижних конечностей, ишемические формы синдрома диабетической стопы при сахарном диабете, приводят к снижению качества жизни и ранней инвалидизации.

Для безредукторного двигателя стабилизации ($i = 1, h_p = 0$) из (7), как частный случай, следует (5). Передаточная функция (8) может быть применена для анализа поведения гиросtabilизатора на основании, качающемся с разными частотами.

Гиросtabilизаторы на ВТГ являются базой для построения перспективных навигационных систем [4].

Заключение. Динамика гиросtabilизаторов с ВТГ-ДУС и ВТГ-ИГ, как и в гиросtabilизаторах с другими типами гироскопов имеет накапливаемую ошибку с ВТГ-ДУС и статическую ошибку с ВТГ-ИГ. Для их устранения в контур стабилизации необходимо ввести акселерометр и применить калмановскую фильтрацию сигналов. При этом гиросtabilизатор будет следить за кажущейся вертикалью. Учет погрешностей гироскопов и акселерометров может быть выполнен по рекомендациям работы [5]. Анализ динамики гиросtabilизатора с ВТГ на качающемся основании может быть выполнен на основе передаточных функций по возмущающему моменту и углу качки, из которых следует, что в качественном отношении его динамика аналогична динамике индикаторных гиросtabilизаторов с любым типом гироскопов.

1. Журавлев В. Ф. Климов Д. М. Волновой твердотельный гироскоп. – М.: Наука, 1985. – 129 с.
2. Матвеев В. А., Липатников В. И., Алехин А. В. Проектирование волнового твердотельного гироскопа. – М.: МГТУ им. Баумана, 1998. – 115 с.
3. Расопов В. Я. Теория гироскопических систем. Гиросtabilизаторы: учебное пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2016. – 385 с.
4. Матвеев В. А., Лунин Б. С., Басараб М. А. Навигационные системы на волновых твердотельных гироскопах. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 239 с.
5. Матвеев В. В., Расопов В. Я. Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации на МЭМС – датчиках. Учебное пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2017. – 214 с.