

УДК 531.768

Ю. М. Маринич, Ю. М. Гуменюк

## ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ ДАТЧИКА КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

### Вступ

В традиційних датчиках кутової швидкості (ДКШ) на базі динамічно настроюваного гіроскопа (ДНГ) повільні температурні та часові зміни взаємного розташування елементів конструкції, а також дрейф нуля датчика кута (ДК) є причиною випадкової похибки, яка в даний час вирішується термостатуванням та симетризацією конструкції [1, 2] або за допомогою алгоритмічних методів компенсації випадкових похибок ДНГ [3].

На сьогоднішній день актуальною є задача побудови конструктивно та технологічно простого і, як наслідок, недорогого датчика кутової швидкості на базі динамічно настроюваного гіроскопа.

### Постановка задачі

Метою даної роботи є показати можливість виключення впливу перерахованих факторів на температурний дрейф ДКШ ДНГ при використанні в якості ДК сигнальної котушки, що обертається разом з валом привідного двигуна, та датчика моменту (ДМ) з керуванням по змінному струму.

### Схема досліджуваного датчика кутової швидкості на базі ДНГ та введені системи координат

Введемо наступні системи координат на рис. 2:

- 1)  $X Y Z$  – система координат, зв'язана з корпусом ДКШ;
- 2)  $X_1 Y_1 Z_1$  – система координат, зв'язана з валом привідного двигуна. Кутова швидкість обертання привідного двигуна -  $\dot{\psi}$ ;
- 3)  $X_0 Y_0 Z_0$  – система координат, зв'язана з електричною віссю ( $Z_0$ ) сигнальної котушки ДКШ. Кут  $\varphi$  задає площину, в якій має місце відхилення електричної осі сигнальної котушки відносно осі обертання, кут  $\delta$  - величина цього відхилення. Кути  $\varphi$  та  $\delta$  – повільно мінливі функції часу, що задають положення електричної осі сигнальної котушки відносно осі вала привідного двигуна.

Вісь повороту рамки внутрішнього пружного карданового підвісу збігається з віссю  $X_1$ , а вісь повороту ротора відносно рамки збігається з

лінією полюсів магніту ДМ. Кути повороту рамки і ротора позначені  $\alpha$ ,  $\beta$  (на рис. 2 умовно не показані).

Напруга, що наводиться в сигнальній котушці магнітом ДМ:

$$U_{\text{сигн}} = -k\dot{\alpha} - k(\delta \sin \varphi + \dot{\varphi} \delta \cos \varphi), \text{ де}$$

$k$  – крутизна сигнальної котушки, [В·с].

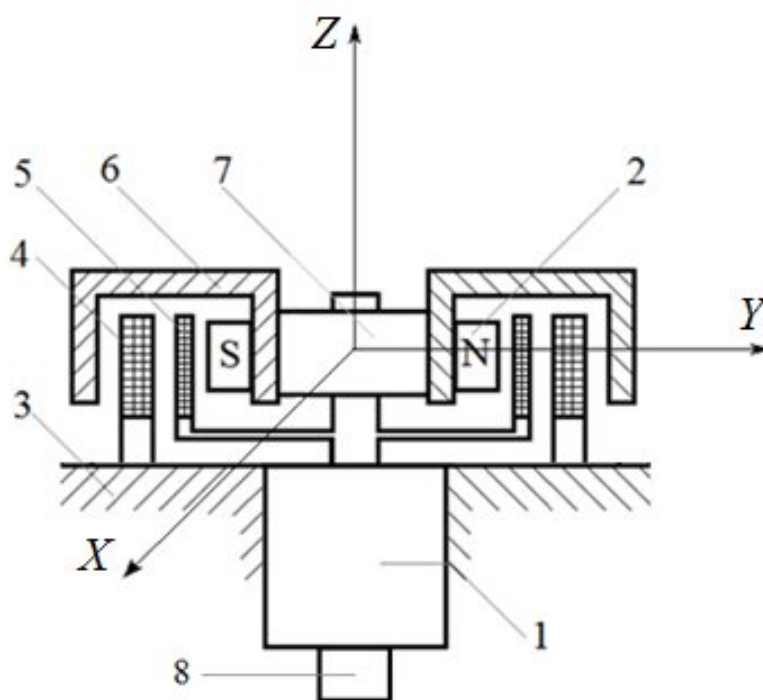


Рис. 1. Схема ДКШ ДНГ: 1 – привідний двигун, 2 – постійний магніт, 3 – корпус, 4 – котушка датчика моменту, 5 – сигнальна котушка, 6 – ротор ДНГ, магнітопровід, 7 – пружний підвіс, 8 – струмознімач

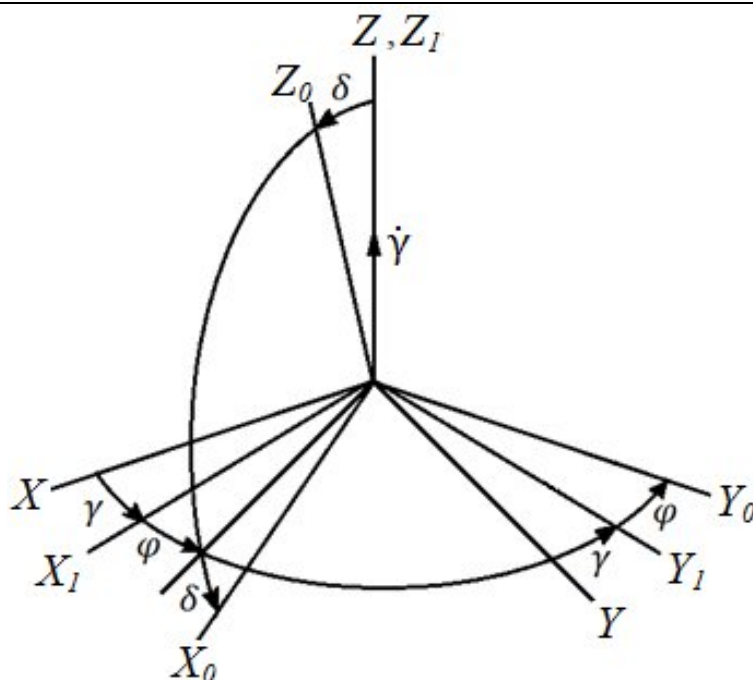


Рис. 2. Взаємне розташування систем координат

### Схема формування току в ДМ та сигналів кутової швидкості

Напруга  $U_{\text{сигн}}$  доповнюється напругою трансформаторного зв'язку з силовою котушкою ДМ  $-U_{\text{Тр}} = M \cdot I_{\text{ДМ}}$  та основною складовою сітьової наводки  $-U \sin(f \cdot t)$ , де

$M$  – коефіцієнт трансформаторного зв'язку сигнальної котушки ДНГ та силової котушки ДМ,  $\left[\frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{а}}\right]$ ;

$U$  – амплітуда;

$f$  – частота сети,  $f=50\text{Гц}$ .

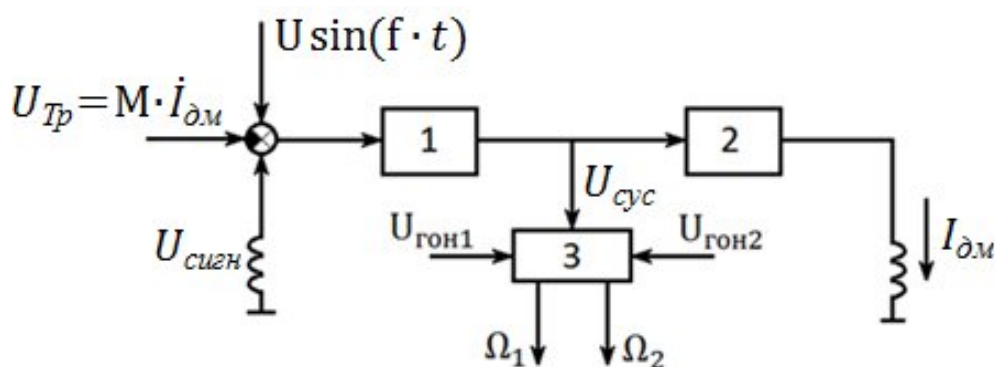


Рис. 3. Схема формування току в ДМ та сигналів кутової швидкості (СКШ), на якій зображено: 1 - попередній підсилювач, 2 - струмовий підсилювач потужності, 3 - випрямляч

Напруга  $U_{\text{сус}}$ , з якої формуються вихідні сигнали кутової швидкості  $\Omega_1, \Omega_2$  (в розмірності кутової швидкості), дорівнює:

$$U_{\text{сус}} = K_2(U_{\text{сигн}} - M\dot{I}_{\text{д.л}} + U \sin(f \cdot t))$$

де  $K_2$  – коефіцієнт підсилення попереднього підсилювача;

Для випрямлення  $U_{\text{сус}}$  використовуються опорні напруги  $U_{\text{зон1}}$ ,  $U_{\text{зон2}}$  з постійною амплітудою та фазовим зсувом на  $90^\circ$ . Ці напруги формуються у вентильному привідному двигуні та використовуються в контурі стабілізації частоти обертання ( $\dot{\gamma} = \text{const}$ ). Для токового підсилювача потужності справедливе співвідношення  $I_{\text{д.л}} = nU_{\text{сус}}$  ( $n$  – коефіцієнт підсилення струмового підсилювача потужності).

### Рівняння руху датчика кутової швидкості на базі ДНГ

Для отримання рівнянь руху досліджуваного ДКШ ДНГ використовуємо відомі [4] рівняння ДНГ відносно  $\alpha$  і  $\beta$ , доповнюючи їх контуром керування (рис. 3). Послідовно виконуємо заміну змінних

$$\begin{cases} \alpha_1 = \alpha \cos \gamma - \beta \sin \gamma \\ \beta_1 = \alpha \sin \gamma + \beta \cos \gamma \end{cases}$$

де  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$  – кути відхилення осі ротора відносно осі обертання вала двигуна в площинах каналів керування, та

$$\Omega_1 = -Q\alpha_1, \quad \Omega_2 = -Q\beta_1,$$

де  $Q = \frac{\kappa\dot{\gamma}}{2l_2H}$  – добротність контуру керування ДКШ,

$$l_2 = \frac{1}{K_1 K_2 n'}$$

де  $K_1$  – крутизна по току,  $\left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{а}}\right]$ ,

$H$  – гіроскопічний момент.

Отримуємо рівняння ДКШ:

$$\begin{cases} \frac{l_1}{2l_2\lambda_n Q} \ddot{\Omega}_1 + \frac{1}{\lambda_n Q} \dot{\Omega}_1 + \frac{1}{\dot{\gamma}} \dot{\Omega}_1 + \frac{1}{Q} \dot{\Omega}_2 + \Omega_2 = \frac{l_1}{2l_2\lambda_n} \ddot{\Omega}_x + \frac{1}{\lambda_n} \dot{\Omega}_x + \Omega_y + \\ \quad + \frac{2}{Q\dot{\gamma}} (\dot{\delta} \sin \varphi + \varphi \delta \cos \varphi) \cos \gamma - \frac{U}{l_2 H} \sin(f \cdot t) \cos \gamma - \mu f_1 \\ \frac{l_1}{2l_2\lambda_n Q} \ddot{\Omega}_2 + \frac{1}{\lambda_n Q} \dot{\Omega}_2 + \frac{1}{\dot{\gamma}} \dot{\Omega}_2 - \frac{1}{Q} \dot{\Omega}_1 - \Omega_1 = \frac{l_1}{2l_2\lambda_n} \ddot{\Omega}_y + \frac{1}{\lambda_n} \dot{\Omega}_y - \Omega_x + \\ \quad + \frac{2}{Q\dot{\gamma}} (\dot{\delta} \sin \varphi + \varphi \delta \cos \varphi) \sin \gamma - \frac{U}{l_2 H} \sin(f \cdot t) \sin \gamma - \mu f_2, \end{cases}$$

де під малим параметром  $\mu$  внесені складові, обумовлені малими моментами від залишкової жорсткості, в'язкого тертя тощо, вплив яких добре досліджено;

$\lambda_n$  – нутаційна частота ДНГ,  $[\text{с}^{-1}]$ ;

$$l_1 = \frac{M}{K_1}, \text{ причому } l_2 \gg l_1 \dot{\gamma};$$

$\Omega_x, \Omega_y$  – вхідні кутові швидкості в каналах керування.

Враховуючи, що зміна положення електричної осі ДК під дією температури відбувається повільно, тобто  $\varphi, \delta, \dot{\varphi}$  та  $\dot{\delta}$  – квазістаціонарні величини, вигляд стаціонарного рішення при постійній вхідній дії  $\Omega_i = \text{const}, i=x, y$ , може бути наступним:

$$\Omega_1 = \Omega_x + a_1 \cos(\dot{\gamma} \cdot t - \varphi_1) + a_2 \cos((f + \dot{\gamma}) \cdot t - \varphi_2) + a_3 \cos((f - \dot{\gamma}) \cdot t - \varphi_3),$$

$$\Omega_2 = \Omega_y + b_1 \sin(\dot{\gamma} \cdot t - \varphi_4) + b_2 \sin((f + \dot{\gamma}) \cdot t - \varphi_5) + b_3 \sin((f - \dot{\gamma}) \cdot t - \varphi_6),$$

де  $a_i, b_i$  ( $i=1..3$ ) – амплітуди відповідних гармонік,  $\varphi_j$  ( $j=1..6$ ) – зсув фаз.

Враховуючи той факт, що в компенсаційних ДКШ виконується нерівність  $\frac{Q}{\dot{\gamma}} < 0,6$ , амплітуди сигналів кутової швидкості та фази можна представити у вигляді:

$$a_1 = b_1 = \frac{2Q^2 \lambda_H \sqrt{l_2^2 (\dot{\gamma}^3 + \lambda_H^3)^2 - l_1 l_2 \dot{\gamma} \lambda_H^2 Q (2\dot{\gamma} + 3\lambda_H^3 + \dot{\gamma}^2 \lambda_H)}}{\dot{\gamma}^2 (l_2 (\dot{\gamma}^4 + \lambda_H^4) + 2l_1 \dot{\gamma} \lambda_H^3 Q)} (\dot{\delta} \sin \varphi + \dot{\varphi} \delta \cos \varphi),$$

$$a_k = ib_k = \frac{UQ \sqrt{l_2^2 (\lambda_H^3 + i(f + i\dot{\gamma})^3)^2 - l_1 l_2 \frac{(f + i\dot{\gamma})^2}{\dot{\gamma}} \lambda_H^2 Q (3\lambda_H^3 + i2(f + i\dot{\gamma})^3 + i(f + i\dot{\gamma})\dot{\gamma} \lambda_H)}}{l_2 A (f + i\dot{\gamma}) (2l_2 (\lambda_H^4 - (f + i\dot{\gamma})^4) - l_1 \frac{(f + i\dot{\gamma})^2}{\dot{\gamma}} \lambda_H^3 Q)},$$

$$\text{tg}(\varphi_1) = \text{tg}(\varphi_4) = -\frac{l_1 A \dot{\gamma}^2 \lambda_H^2 - \kappa (\dot{\gamma}^2 + \lambda_H^2)}{2A [l_2 (\dot{\gamma}^3 + \lambda_H^3) - l_1 \dot{\gamma} \lambda_H^2 Q]}$$

$$\text{tg}(\varphi_k) = \text{tg}(\varphi_{k+3}) = i \frac{2A \left[ l_2 (\lambda_H^3 + i(f + i\dot{\gamma})^3) - l_1 \frac{(f + i\dot{\gamma})^2}{\dot{\gamma}} \lambda_H^2 Q \right]}{l_1 A (f + i\dot{\gamma})^2 \lambda_H^2 - \kappa (\lambda_H^2 + i(f + i\dot{\gamma})\dot{\gamma})},$$

де  $i = (-1)^k, k = 2, 3$ .

## Висновки

1. Вплив повільних зсувів електричної осі датчика кута, наприклад, через вплив температури в запропонованій конструкції датчика кутової швидкості на базі динамічно настроюваного гіроскопа, викликає в сигналах кутової швидкості складові, модульовані частотою власного обертання, що не входить в полосу пропускання приладу і може бути відфільтрована.

2. Наявність наводок в котушці датчика кута від зовнішнього магнітного поля проявляється в сигналах кутової швидкості у вигляді складових на сумарній  $(f + \dot{\psi})$  та різницевій  $(f - \dot{\psi})$  частотах, що може призводити до формування в датчику кутової швидкості збурень, близьких до нутаційної частоти гіроскопа і до збурень на частоті, що входить в полосу пропускання датчика кутової швидкості. Тому корпус датчика кутової швидкості повинен екранувати від зовнішніх магнітних полів.

3. Недоліком запропонованого датчика кутової швидкості є наявність 2-х контактного струмознімача, що містить ковзні пружні контакти. Та цей недолік компенсується зниженням температурних похибок, тобто можливістю роботи без системи термостатування, яка збільшує час виходу датчика кутової швидкості на режим.

### **Список використаної літератури**

1. Северов Л. А. Механіка гіроскопічних систем/ Л. А. Северов– М.: Видавництво МАІ, 1996. – 212с.
2. Матвеев В. А. Гіроскопічні стабілізатори на динамічно настоюваних гіроскопах/ В. А. Матвеев, В. П. Подчерцев, В. В. Фатеев– М.: Видавництво МГТУ ім. Н. Є. Баумана, 2005. – 103с.
3. Збруцький О. В. Підвищення точності гіроскопічного компаса з використанням оптимальної фільтрації / О. В. Збруцький, М. Рахмуни / Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2001. – №6. – С. 85–88.
4. Пельпор Д. С. Динамічно настроювані гіроскопи/ Д. С. Пельпор, В. А. Матвеев, В. Д. Арсеньев– М.: Машинобудування, 1988. – 264с.

