Наукові вісті Національного технічного університету України "КПІ", 2000, № 5, с. 103-109.

УДК 531.383

О.В. Збруцький, О.С. Апостолюк, В.О. Апостолюк

МЕТОД СИНТЕЗУ ДАТЧИКА КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ НА ДИНАМІЧНО НАСТРОЮВАНОМУ ГІРОСКОПІ

Вступ

Більшість сучасних областей застосування гіроскопічної техніки потребують вимірювання кутової швидкості рухливих об'єктів з цілями керування і навігації. Нові гіроскопічні пристрої, що з'являються, побудовані на різних фізичних принципах, призначені в основному для вимірювання кутової швидкості. Одним із найбільш широко поширених гіроскопічних приладів є динамічно настроюваний гіроскоп (ДНГ). Основні проблеми побудови датчика кутової швидкості на ДНГ пов'язані з перехресною чутливістю його вимірювальних каналів і смугою пропускання. Ці чинники вносять істотні обмеження на якість вимірювання кутової швидкості й області застосування. Запропонована робота присвячена методу усунення указаних чинників і забезпечення бажаних якостей двохкомпонентного датчика кутової швидкості.

Усунення впливу перехресних зв'язків

Розглянемо рівняння руху чутливого елемента ДНГ у зображенні Лапласа. При нульових початкових умовах вони мають вигляд [1]:

$$\begin{aligned}&\left(Js^2+h_1s+\Delta c\right)\alpha(s)+\left(Hs+h_2\right)\beta(s)=-H_0\omega_Z(s)-Js\omega_Y(s)+M_\alpha(s),\\&\left(Js^2+h_1s+\Delta c\right)\beta(s)-\left(Hs+h_2\right)\alpha(s)=H_0\omega_Y(s)-Js\omega_Z(s)+M_\beta(s),\end{aligned}\qquad(1)$$

де α і β - кути відхилення ротора ДНГ; J - момент інерції ротора; h_1 - коефіцієнт демпфірування; h_2 - коефіцієнт, пропорційний до добутку демпфірування і швидкості обертання вала приводного двигуна; Δc - залишкова динамічна жорсткість підвісу; H і H_0 - кінетичні моменти; ω_Y і ω_Z - компоненти вектора переносної кутової швидкості обертання основи; M_α і M_β - моменти збурення, що діють на ДНГ.

Структурна схема, що відповідає рівнянням (1), показана на рис. 1, де введено наступні передатні функції, відповідні до рівнянь (1):

$$\begin{aligned}&W_\alpha(s)=W_\beta(s)=\frac{1}{Js^2+h_1s+\Delta c},\\&C_\alpha(s)=C_\beta(s)=Hs+h_2,\\&I_1(s)=H_0,\quad I_2(s)=Js.\end{aligned}\qquad(2)$$

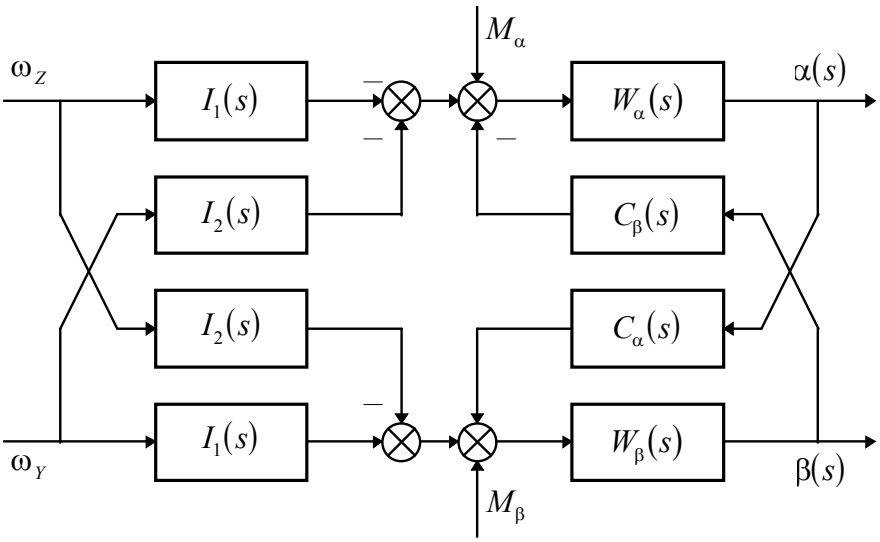

Рис. 1. Структурна схема чутливого елемента ДНГ

Для досягнення в ДНГ необхідних якостей по швидкодії, діапазону вимірювання кутових швидкостей і автономності вимірювальних каналів необхідно організувати керування рухом його ротора із введенням зворотніх зв'язків [2]. Однак розв'язання цієї задачі методами аналітичного синтезу не при всіх постановках задач призводять до потрібного результату внаслідок фізичної неможливості реалізувати контури керування, або зниження захищеності системи від збурень.

Пропонується вирішити цю проблему в два етапи. Розглянемо структурну схему вимірника кутової швидкості на ДНГ із уведеними контурами керування (D_α , D_β) і зворотнього зв'язку (B_α та B_β) (рис. 2).

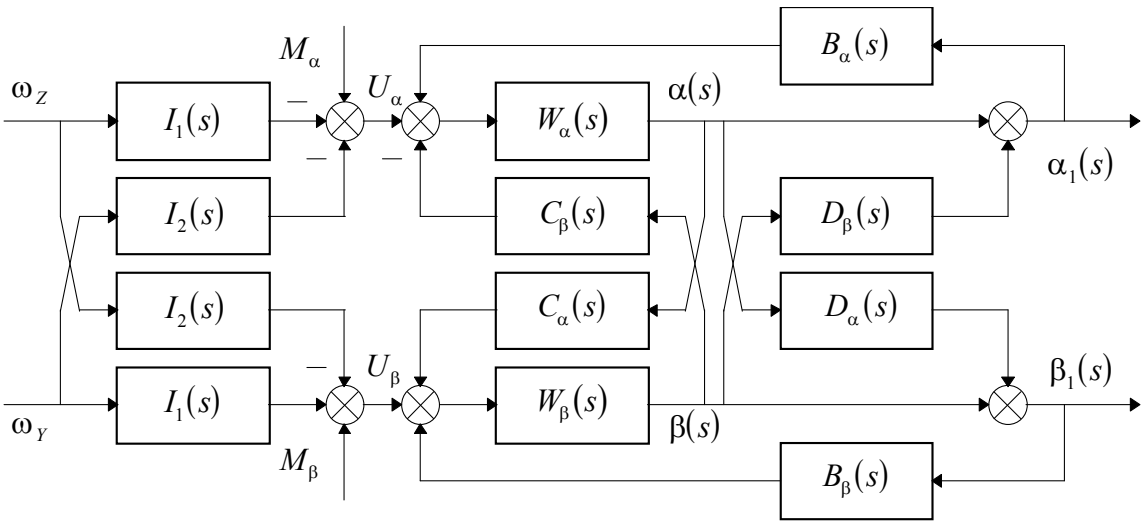

Рис. 2. Структурна схема датчика кутової швидкості з керуванням і зворотними зв'язками

Тоді кути відхилення ротора будуть визначатися із системи рівнянь

$$\begin{cases} \left(1-W_\alpha B_\alpha\right)\alpha - W_\alpha\left(B_\alpha D_\beta - C_\beta\right)\beta = W_\alpha U_\alpha, \\ -W_\beta\left(B_\beta D_\alpha + C_\alpha\right)\alpha + \left(1-W_\beta B_\beta\right)\beta = W_\beta U_\beta, \end{cases} \tag{3}$$

де позначено

$$U_\alpha = -I_1\omega_Z - I_2\omega_Y + M_\alpha, \quad U_\beta = I_1\omega_Y - I_2\omega_Z + M_\beta.$$

З (3) отримаємо

$$\begin{gathered}\alpha(s) = \Delta^{-1}W_\alpha\left\{U_\alpha\left(1 - W_\beta B_\beta\right) + W_\beta U_\beta\left(B_\alpha D_\beta - C_\beta\right)\right\},\\ \beta(s) = \Delta^{-1}W_\beta\left\{U_\beta\left(1 - W_\alpha B_\alpha\right) + W_\alpha U_\alpha\left(B_\beta D_\alpha + C_\alpha\right)\right\},\\ \Delta = \left(1 - W_\alpha B_\alpha\right)\left(1 - W_\beta B_\beta\right) - W_\alpha W_\beta\left(B_\alpha D_\beta - C_\beta\right)\left(B_\beta D_\alpha + C_\alpha\right).\end{gathered} \tag{4}$$

Координати α_1 і β_1, враховуючи вирази (4), будуть визначатися співвідношеннями

$$\alpha_1(s) = \alpha + D_\beta\beta = \Delta^{-1}\left\{W_\alpha\left(1 + C_\alpha D_\beta W_\beta + B_\beta W_\beta\left(D_\alpha D_\beta - 1\right)\right)U_\alpha + W_\beta\left(D_\beta - C_\beta W_\alpha\right)U_\beta\right\},$$

$$\beta_1(s) = \beta + D_\alpha\alpha = \Delta^{-1}\left\{W_\beta\left(1 - C_\beta D_\alpha W_\alpha + B_\alpha W_\alpha\left(D_\alpha D_\beta - 1\right)\right)U_\beta + W_\alpha\left(D_\alpha + C_\alpha W_\beta\right)U_\alpha\right\}.$$

З аналізу цих співвідношень неважко побачити, що якщо прийняти

$$D_\alpha = -C_\alpha W_\beta = -\frac{Hs + h_2}{Js^2 + h_1 s + \Delta c}, \quad D_\beta = C_\beta W_\alpha = \frac{Hs + h_2}{Js^2 + h_1 s + \Delta c}, \tag{5}$$

то для перемінних α_1 і β_1 система (рис. 2) стає з розділеними каналами по вхідних моментах I_α і I_β, що діють на ротор ДНГ.

$$\alpha_1(s) = \frac{W_\alpha}{1 - B_\alpha W_\alpha}U_\alpha(s), \quad \beta_1(s) = \frac{W_\beta}{1 - B_\beta W_\beta}U_\beta(s). \tag{6}$$

Зауважимо, із виду виразів (6), що ці канали будуть являти собою коливальні ланки, охоплені зворотними в'язями із передатними функціями B_α і B_β відповідно. Це значно полегшує синтез передатних функцій контурів зворотного зв'язку, виходячи з умови забезпечення бажаних характеристик датчика кутової швидкості і якості перехідного процесу.

Задавши передатні функції контурів зворотного зв'язку у виді

$$B_\alpha(s) = B_\beta(s) = -k_C - k_H s, \tag{7}$$

знайдемо передатні функції утворених каналів

$$\begin{gathered}W_{\alpha 0}(s) = \frac{W_\alpha(s)}{1 - W_\alpha(s)B_\alpha(s)} = \frac{1}{Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \left(\Delta c + k_C\right)},\\ W_{\beta 0}(s) = \frac{W_\beta(s)}{1 - W_\beta(s)B_\beta(s)} = \frac{1}{Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \left(\Delta c + k_C\right)}.\end{gathered} \tag{8}$$

Передатні функції системи щодо вимірюваних величин ω_Y, ω_Z

$$G_{\omega Z}(s) = \frac{\alpha_1(s)}{\omega_Z(s)} = -I_1(s)W_{\alpha 0}(s) = -\frac{H_0}{Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \left(\Delta c + k_C\right)},$$

$$G_{\omega Y}(s) = \frac{\beta_1(s)}{\omega_Y(s)} = I_1(s)W_{\beta 0}(s) = \frac{H_0}{Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \left(\Delta c + k_C\right)},$$

$$G_{V\omega Z}(s) = \frac{\beta_1(s)}{\omega_Z(s)} = -I_2(s)W_{\beta 0}(s) = -\frac{Js}{Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \left(\Delta c + k_C\right)},$$

$$G_{V\omega Y}(s) = \frac{\alpha_1(s)}{\omega_Y(s)} = -I_2(s)W_{\alpha 0}(s) = -\frac{Js}{Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \left(\Delta c + k_C\right)},$$

свідчать про наявність перехресної чутливості вимірника.

Усунення перехресної чутливості

Для усунення перехресної чутливості датчика сформуємо контур обробки сигналів α_1, β_1 за схемою, яка показана на рис. 3, не порушуючи якість отриманої системи (рис. 2).

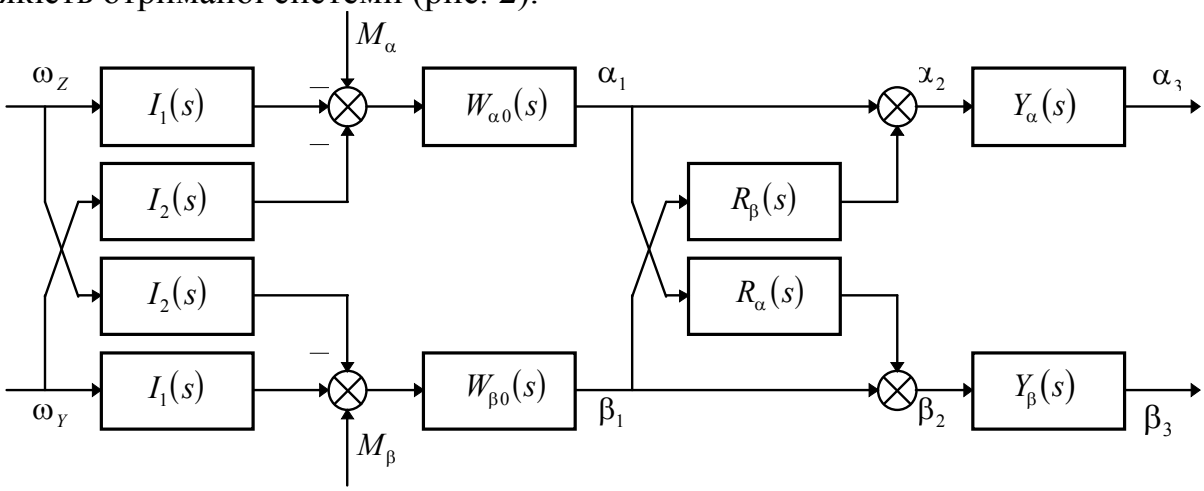

Рис. 3. Схема без перехресної чутливості

Для схеми на рис. 3 сигнали α_2 і β_2 будуть обчислюватися за формулами

$$\begin{aligned}\alpha_2(s) &= -\left(W_{\alpha 0}I_1 + R_\beta W_{\beta 0}I_2\right)\omega_Z - \left(W_{\alpha 0}I_2 - R_\beta W_{\beta 0}I_1\right)\omega_Y + W_{\alpha 0}M_\alpha + R_\beta W_{\beta 0}M_\beta,\\ \beta_2(s) &= \left(W_{\beta 0}I_1 - R_\alpha W_{\alpha 0}I_2\right)\omega_Y - \left(W_{\beta 0}I_2 + R_\alpha W_{\alpha 0}I_1\right)\omega_Z + W_{\beta 0}M_\beta + R_\alpha W_{\alpha 0}M_\alpha.\end{aligned} \tag{9}$$

З аналізу виразів (9) випливає, що перехресна чутливість усувається при

$$R_\alpha = -\frac{W_{\beta 0}I_2}{W_{\alpha 0}I_1} = -\frac{Js}{H_0}, \quad R_\beta = \frac{W_{\alpha 0}I_2}{W_{\beta 0}I_1} = \frac{Js}{H_0}.$$

Тоді вирази (9) набудуть вигляду

$$\alpha_2(s) = -W_{\alpha 0}\left(\frac{I_1^2 + I_2^2}{I_1}\right)\omega_Z + W_{\alpha 0}\left(M_\alpha + \frac{I_2}{I_1}M_\beta\right),$$

$$\beta_2(s) = W_{\beta 0}\left(\frac{I_1^2 + I_2^2}{I_1}\right)\omega_Y + W_{\beta 0}\left(M_\beta - \frac{I_2}{I_1}M_\alpha\right),$$

а передатні функції по кутовим швидкостям, що вимірюються, будуть

$$\begin{aligned}G_Z(s) &= \frac{\alpha_2(s)}{\omega_Z(s)} = -\frac{H_0^2 + J^2s^2}{H_0\left[Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \Delta c + k_C\right]},\\ G_Y(s) &= \frac{\beta_2(s)}{\omega_Y(s)} = \frac{H_0^2 + J^2s^2}{H_0\left[Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \Delta c + k_C\right]}.\end{aligned} \tag{10}$$

Подвійне диференціювання в чисельнику передатних функцій (10) призводить до значних похибок при вимірюванні кутових швидкостей, що швидко змінюються, і низькій перешкодозахищеності системи. Тому задамо передатні функції Y_α й Y_β у вигляді

$$Y_\beta = -Y_\alpha = \frac{H_0 K_0}{H_0^2 + J^2 s^2}, \tag{11}$$

для яких

$$G_{Z0}(s) = \frac{\alpha_3(s)}{\omega_Z(s)} = G_{Y0}(s) = \frac{\beta_3(s)}{\omega_Y(s)} = \frac{K_0}{Js^2 + (h_1 + k_H)s + \Delta c + k_C}, \tag{12}$$

де K_0 - бажаний коефіцієнт підсилення. У цьому випадку статичні коефіцієнти передачі K_Z і K_Y по відповідним компонентам вектора переносної кутової швидкості, що вимірюються, будуть визначатися співвідношеннями

$$K_Y = K_Z = \frac{K_0}{\Delta c + k_C}.$$

Якщо задана бажані частота резонансу ω_0 і відносне демпфірування ζ_0 коливальної ланки, яким є вимірювальний канал датчика, можемо одержати необхідні коефіцієнти контуру зворотного зв'язку (7)

$$k_C = J\omega_0^2 - \Delta c, \quad k_H = -h_1 + J\zeta_0\omega_0. \tag{13}$$

Як показує досвід, вибір коефіцієнтів зворотного зв'язоку необхідно робити також з урахуванням необхідного зниження коливальності ротора ДНГ, тому що його максимальні кути відхилення обмежені.

Стійкість гіроскопа

Для аналізу стійкості ДНГ скористаємося характеристичним рівнянням системи (3), що з урахуванням виразів для передатних функцій (2) і (7) приймає вигляд

$$\Delta(s) = \left[Js^2 + (h_1 + k_H)s + \Delta c + k_C\right]^2 \left[(Hs + h_2)^2 + (Js^2 + h_1 s + \Delta c)^2\right]. \tag{14}$$

Корені рівняння (14) можуть бути знайдені з рішень системи двох рівнянь

$$\begin{cases} Js^2 + (h_1 + k_H)s + \Delta c + k_C = 0, \\ (Hs + h_2)^2 + (Js^2 + h_1 s + \Delta c)^2 = 0. \end{cases}$$

Корені першого рівняння будуть

$$s_{1,2} = -\frac{1}{2J}(h_1 + k_H) \pm \frac{1}{2J}\sqrt{(h_1 + k_H)^2 - 4J(\Delta c + k_C)}. \tag{15}$$

Зауважимо, що тільки перше рівняння залежить від параметрів контурів зворотнього зв'язку, і має кратність, що дорівнює двом. Корені другого рівняння системи будуть

$$\begin{aligned} s_{3,4} &= \frac{1}{2J}(-h_1 - iH) \pm \frac{1}{2J}\sqrt{-(H - ih_1)^2 - 4J(\Delta c + ih_2)^2}, \\ s_{5,6} &= \frac{1}{2J}(-h_1 + iH) \pm \frac{1}{2J}\sqrt{-(H + ih_1)^2 - 4J(\Delta c - ih_2)^2}. \end{aligned} \tag{16}$$

Корені (16) характеристичного рівняння залежать тільки від параметрів ДНГ. Для реальних ДНГ вони є комплексно спряженими з від'ємними дійсними частинами, що відповідає стійкому стану системи за критерієм Ляпунова.

Аналіз виразів (15) показав, що ці корені можуть бути комплексно спряженими, або дійсними, в залежності від параметрів k_C і k_H, але в обох випадках із від'ємною дійсною частиною, що говорить про стійкість системи. З погляду на якість системи доцільно вибирати параметри так, щоб корені були дійсними. Це буде мати місце у випадку, коли

$$k_H > -h_1 + 2\sqrt{J\left(\Delta c + k_C\right)}\,. \tag{17}$$

Крім умови (17) обидва коефіцієнти k_C і k_H повинні бути додатними (див. (13)), що відповідає від'ємному зворотньому зв'язку і зниженню коливальності ротора ДНГ.

Чутливість до зміни параметрів ДНГ

Як видно з формул (5), у передатних функціях контуру керування присутні параметри ДНГ, що можуть змінюватися під час роботи приладу. До них відносяться залишкова динамічна жорсткість Δc і коефіцієнт демпфірування h_2. Це призведе до порушення співвідношень (5) і, отже, до небажаних явищ у системі. Внесення відповідних змін у коефіцієнти передатних функцій (5) у процесі роботи приладу призводить до значного ускладнення процесу оброблення вихідних сигналів. Оцінимо похибки виміру кутової швидкості, викликані зміною параметрів ДНГ.

Задамо залишкову жорсткість у такий спосіб:

$$\Delta c = \Delta c_0\left(1 + \delta c\right),$$

де δc - малий коефіцієнт зміни залишкової жорсткості, що не має розмірності, а Δc_0 - початкове значення залишкової жорсткості, використовуване в передатних функціях (5). Для сталого режиму отримаємо

$$\alpha_3 = K_0 \frac{\left[\left(\Delta c_0 + k_C\right)\left(\Delta c_0^2 + h_2^2\right) + \Delta c_0^3 \delta c\right]\omega_Z - h_2 \delta c \Delta c_0^2 \omega_Y}{\left(\Delta c_0^2 + h_2^2\right)\left(\Delta c_0 + k_C\right)^2 + 2\Delta c_0^3\left(\Delta c_0 + k_C\right) + \Delta c_0^4 \delta c^2}\,. \tag{18}$$

Через симетричність вимірювальних каналів вираз для β_3 буде аналогічним (18), але з відповідними компонентами вектора кутової швидкості. Розкладання в ряд по малому параметрові δc й утримання його першого ступеня дає

$$\alpha_3 \approx \frac{K_0}{\Delta c_0 + k_C}\omega_Z - \frac{\Delta c_0^2 K_0\left(h_2 \omega_Y + \Delta c_0 \omega_Z\right)}{\left(\Delta c_0^2 + h_2^2\right)\left(\Delta c_0 + k_C\right)^2}\delta c\,. \tag{19}$$

Чисельні розрахунки по формулі (19) для реальних параметрів показують, що похибка виміру кутової швидкості від зміни залишкової жорсткості в декілька разів ($\delta c \geq 1$) не є істотною (приблизно на 5 порядків менше від основного сигналу).

Представимо тепер параметр h_2 у вигляді

$$h_2 = h_{20}\left(1 + \delta h_2\right).$$

Тут δh_2 - безрозмірний малий коефіцієнт зміни параметра h_2, а h_{20} його незбурене значення. Сигнал α_3 у сталому режимі буде

$$\alpha_3 = K_0 \frac{\left[\left(\Delta c + k_C\right)\left(\Delta c^2 + h_{20}^2\right) + h_{20}^2 \Delta c \delta h_2\right]\omega_Z + h_{20}\delta h_2 \Delta c^2 \omega_Y}{\left(\Delta c^2 + h_{20}^2\right)\left(\Delta c + k_C\right)^2 + 2h_{20}^2 \Delta c\left(\Delta c + k_C\right)\delta h_2 + \Delta c^2 h_{20}^2 \delta h_2^2}. \tag{20}$$

Після розкладання виразу (20) у ряд по малому параметрові δh_2 й утримання його першого ступеня отримуємо

$$\alpha_3 \approx \frac{K_0}{\Delta c + k_C}\omega_Z + \frac{K_0 h_{20} \Delta c\left(\Delta c \omega_Y - h_{20}\omega_Z\right)}{\left(\Delta c^2 + h_{20}^2\right)\left(\Delta c + k_C\right)^2}\delta h_2. \tag{21}$$

Таким чином, з аналізу виразів (19) і (21) випливає, що для датчика кутової швидкості, побудованого за схемою рис. 3, зміни параметрів ДНГ не впливають істотно на точність виміру кутової швидкості.

Чисельне моделювання

На основі наведених результатів було виконано чисельне моделювання з параметрами реального приладу. При моделюванні приймалося, що ω_Z має гармонійний характер з амплітудою
1 рад/с і частотою 100 Гц. Кутова швидкість ω_Y подана прямокутним сигналом з амплітудою 1 рад/с і 15% широкополосным білим шумом. Отримані результати моделювання подані графічно на рис. 4 і 5. Аналіз цих графіків показує, що перехресна чутливість відсутня, а шум дещо послаблюється.

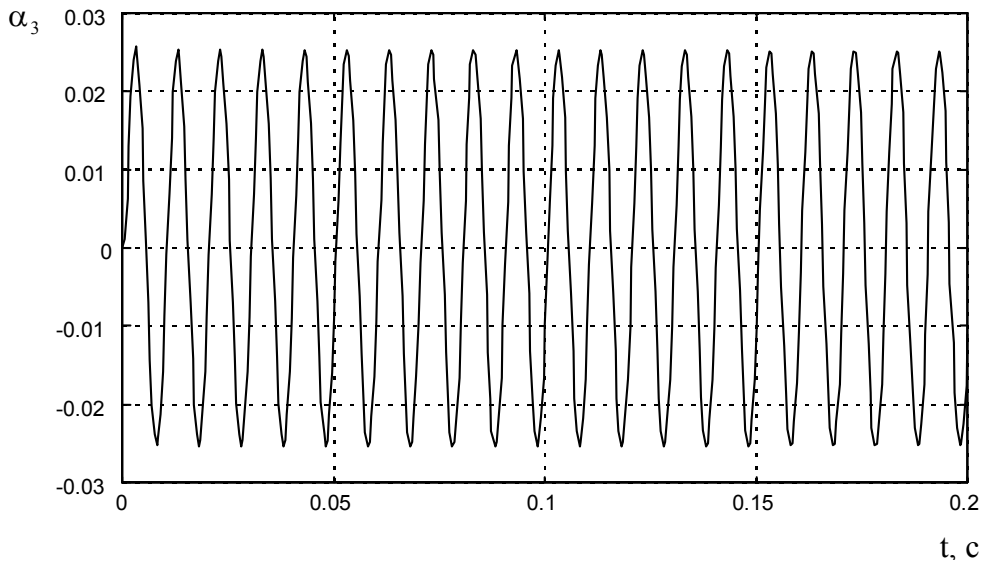

Рис. 4. Вихідний сигнал α_3

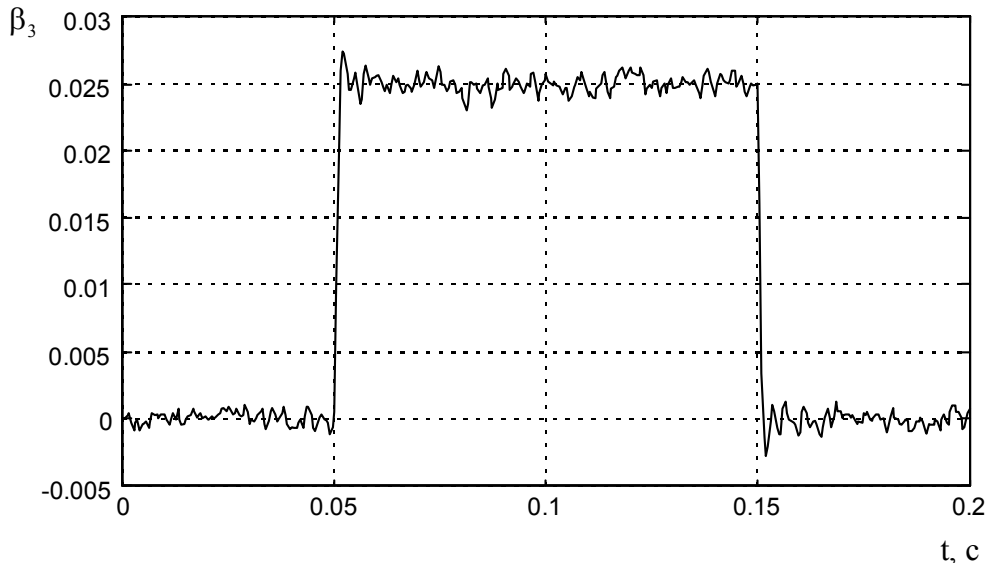

Рис. 5. Вихідний сигнал β_3

Зменшення впливу збурень. Смуга пропускання

Як показує аналіз виразів (9), якщо прийняти передатні функції Y_α й Y_β у вигляді (11), тоді передатні функції для α_3 по збурюючих моментах будуть

$$V_\alpha(s) = \frac{\alpha_3(s)}{M_\alpha(s)} = W_{\alpha 0} Y_\alpha = -\frac{H_0 K_0}{\left[Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \Delta c + k_C\right]\left(H_0^2 + J^2 s^2\right)},$$

$$V_\beta(s) = \frac{\alpha_3(s)}{M_\beta(s)} = W_{\alpha 0} Y_\alpha \frac{I_2}{I_1} = -\frac{JK_0 s}{\left[Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \Delta c + k_C\right]\left(H_0^2 + J^2 s^2\right)}.$$

Очевидно, що по обох моментах M_α та M_β буде мати місце необмежений по амплітуді резонанс на нутаційній частоті H_0/J. Одним із можливих способів обмеження цього резонансу може стати вибір передатних функцій Y_α і Y_β у вигляді

$$Y_\beta = -Y_\alpha = \frac{H_0 K_0}{H_0^2 + h_3 s + J^2 s^2},$$

де параметр h_3 вибирається з умов необхідного придушення збурень на резонансній частоті. У цьому випадку передатні функції по кутовій швидкості (12) приймуть вигляд

$$G_{Z0}^*(s) = \frac{\alpha_3(s)}{\omega_Z(s)} = G_{Y0}^*(s) = \frac{\beta_3(s)}{\omega_Y(s)} = \frac{K_0\left(H_0^2 + J^2 s^2\right)}{\left[Js^2 + \left(h_1 + k_H\right)s + \Delta c + k_C\right]\left(H_0^2 + h_3 s + J^2 s^2\right)}. \qquad (22)$$

У такий спосіб виникає додаткове спотворення вихідного сигналу в порівнянні з (12). Однак для досить широкого діапазону частот кутових швидкостей, які, у той же час, менші за нутаційну частоту гіроскопа, це спотворення неістотне. З аналізу виразу (22) отримаємо наступний вираз для ширини смуги пропускання датчика ($\left[f_{\max}\right] =$ Гц):

$$f_{\max} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{2a_4}}\left[-a_2+\sqrt{a_2^2+4a_4\delta G}\right]^{1/2},$$

$$a_2=\frac{h_3^2\left(\Delta c+k_C\right)^2+H_0^4\left[\left(h_1+k_H\right)^2-2J\left(\Delta c+k_C\right)\right]}{2H_0^4\left(\Delta c+k_C\right)^2},$$

$$\begin{aligned} a_4 = {} & \left(8H_0^8\right)^{-1}\left(\Delta c+k_C\right)^{-4}\Big[8H_0^2h_3^2J\left(\Delta c+k_C\right)^4-3h_3^4\left(\Delta c+k_C\right)^2+ \\ & +2H_0^4h_3^2\left(\Delta c+k_C\right)^2\left[2J\left(\Delta c+k_C\right)-\left(h_1+k_H\right)^2\right]-H_0^8\Big[3h_1^4+8J^2\left(\Delta c+k_C\right)^2+ \\ & +12h_1^3k_H-12J\left(\Delta c+k_C\right)k_H^2+3k_H^4-6h_1^2\left(2J\left(\Delta c+k_C\right)-3k_H^2\right)+ \\ & +12h_1k_H\left(k_H^2-2J\left(\Delta c+k_C\right)\right)\Big]\Big], \end{aligned} \tag{23}$$

де $\delta G=\left[G_{Z0}^*(0)-G_{Z0}^*(2\pi f)\right]/G_{Z0}^*(0)$ - максимальна припустима відносна похибка вимірювання кутової швидкості по амплітуді для всіх частот, менших за $f_{\max}$. Формула (23) дає досить точні значення для частот, не більших за нутаційну H_0/J. Зміщення фази переносної кутової швидкості буде

$$\varphi(\omega)=-\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega\left[h_3\left(\Delta c+k_C\right)+H_0^2\left(h_1+k_H\right)\right]-J\omega^3\left[h_3+J\left(h_1+k_H\right)\right]}{H_0^2\left(\Delta c+k_C\right)-\left[JH_0^2+J^2\left(\Delta c+k_C\right)+h_3\left(h_1+k_H\right)\right]\omega^2+J^3\omega^4}\right].$$

На рис. 6 і 7 зображені відповідні до (22) логарифмічна амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики.

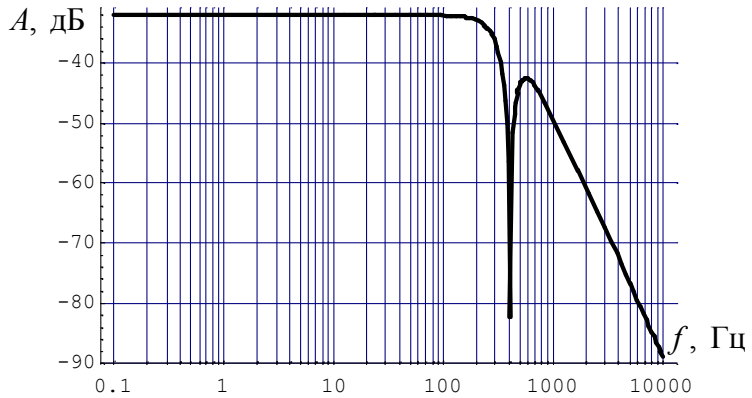

Рис. 6. Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика

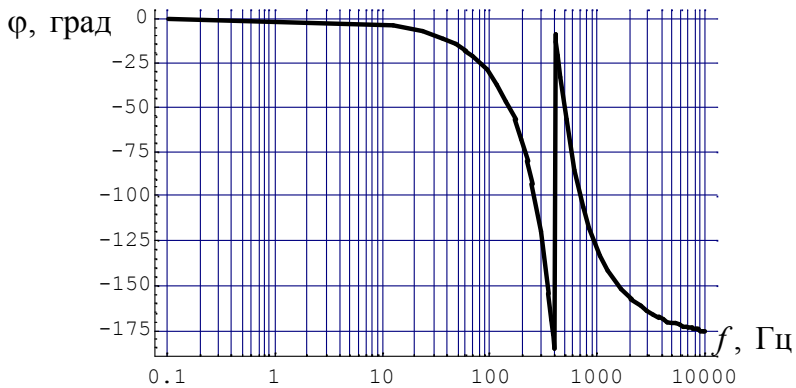

Рис. 7. Фазо-частотна характеристика

Висновки

Проведені дослідження дозволили запропонувати метод синтезу двохкомпонентного датчика кутової швидкості на основі ДНГ, що полягає в послідовному синтезі контуру керування з вилученням перехресних зв'язків у двовимірній системі й обробленні сигналів для одержання необхідної якості датчика кутової швидкості. Показано, що вибором коефіцієнтів зворотнього зв'язку можна регулювати вимірювальні характеристики приладу, а зміни параметрів ДНГ не істотно впливають на точність вимірювання кутової швидкості. Загальність методу дозволяє використовувати його і для інших приладів та систем, що мають перехресну чутливість.

Список літератури

1. *Павловский М.А.* Теория гироскопов. - К.: Вища школа, 1986. - 304 с.
2. *Збруцкий А.В.* Измерение параметров угловых движений основания динамически настраиваемым гироскопом // Изв. вузов. Приборостроение - 1986. - №4 - с. 55-59.

Рекомендована до опбулікування науково-технічною радою Науково-аналітичного центра критичних технологій навігаційного приладобудування при Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут"
Протокол № _____ від "____"_____ 2000 р.

Вчений секретар науково-технічної ради, к.т.н. *О.І. Нестеренко*