

О ПОГРЕШНОСТЯХ КОРРЕКТИРУЕМОГО ГИРОКОМПАСА С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

ЧИЧИНАДЗЕ М. В.

Конструкция, принцип работы и погрешности однороторного корректируемого гироскопа с жидкостно-торсионным подвесом чувствительного элемента и аналоговым управлением описаны в [1].

Развитие микроэлектроники позволяет осуществить переход от аналогового управления движением чувствительного элемента к цифровому, где формирование алгоритмов управления осуществляет микропроцессор, а связь гироскопической части с процессором – блоки интерфейса [2]. Не перечисляя очевидные достоинства цифрового управления, остановимся на вносимых им дополнительных погрешностях курсоуказания.

В силу специфики сопряжения аналоговых датчиков информации – гироскопа, индикатора горизонта и других – с процессором к ним следует отнести: погрешность преобразования аналогового сигнала индикатора горизонта (ньютонометра) в дискретный; погрешность преобразования сформированных процессором дискретных сигналов управления и коррекции в аналоговые; погрешности вычисления алгоритмов управления и коррекции.

Первые две погрешности могут быть интерпретированы как нелинейности в сигнале индикатора горизонта и в сигнале управления датчиком момента (торсионами).

Погрешности преобразования аналога в код и обратно состоят, в свою очередь, из собственно погрешности преобразователя, которая определяется характеристиками выбранной элементной базы, величиной преобразуемых сигналов и разрядностью преобразователя [3]. Влияние этой погрешности и погрешности вычисления алгоритмов на погрешность курсоуказания можно оценить через соответствующий дрейф чувствительного элемента гироскопа.

1. Рассмотрим влияние на погрешность гироскопа n -разрядного аналого-цифрового преобразователя с погрешностью преобразования i . При этом будем учитывать, что аналоговая информация преобразуется в двоичный параллельный код. Максимальное отклонение маятника индикатора горизонта в соответствии с известными соотношениями [4] составляет

$$\beta_{1m} = \beta_m + (W_N + W_E \alpha) g^{-1} \quad (1)$$

$$W_N = v_N^* + 2v_E U \sin \varphi + v_E^2 R_2^{-1} \operatorname{tg} \varphi$$

$$W_E = v_E^* - 2v_N U \sin \varphi (1 - 0,5aR_1^{-1} e^2 \cos \varphi) - v_N v_E R_2^{-1} \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

$$R_1 = a(1 + 0,5e^2 \sin \varphi), \quad R_2 = a(1 - e^2 + 1,5e^2 \sin^2 \varphi) \quad (3)$$

где g – ускорение силы тяжести, W_N , W_E – составляющие проекций кажущегося ускорения приборного трехгранника на оси географического трехгранника, v_N , v_E – северная и восточная составляющие линейной скорости приборного трехгранника относительно поверхности земного сфероида с главными радиусами кривизны R_1 , R_2 . Для скоростей порядка 15 м/с несферичность Земли можно пренебречь, положив $R_1 = R_2 = R$, так как она эквивалентна дополнительному горизонтальному дрейфу, равному $13,5 \cdot 10^{-9}$ с⁻¹ или погрешности курсоуказания 0,03° сек φ . Также можно пренебречь составляющими вида $v^2 R^{-1}$, так как при той же скорости $v < 15$ м/с погрешность определения горизонта не превысит $5 \cdot 10^{-6}$ рад. Составляющие вида $2vU$ следует удерживать, так как они соответствуют погрешности определения горизонта $2,4 \cdot 10^{-4}$ рад, а с помощью микропроцессора могут быть вычислены и скомпенсированы, пользуясь внешней информацией о скорости и широте места. Максимальное отклонение главной оси чувствительного элемента от горизонта β_m определяется параметрами гироскопа [4] как

$$\beta_m = -HU \cos \varphi \sin \alpha(0) (c_z N_z)^{-1} \quad (4)$$

где $HU \cos \varphi$ – направляющий момент гироскопа, $c_z N_z$ – крутизна момента вокруг вертикальной оси чувствительного элемента, т. е. демпфирующего момента, $\alpha(0)$ – начальное отклонение от плоскости меридиана. Таким образом, максимальное отклонение индикатора горизонта определяется как

$$\beta_{1m} = -HU \cos \varphi (c_z N_z)^{-1} + (v_N^* + 2v_E U \sin \varphi) g^{-1} \quad (5)$$

Погрешность преобразования аналогового сигнала индикатора горизонта в двоичный параллельный код при выбранном аналого-цифровом преобразователе с погрешностью i составит

$$\Delta_{ak} = |\beta_{1m}| i \quad (6)$$

В свою очередь цена младшего разряда, т. е. зона нечувствительности в характеристике индикатора горизонта при n -разрядном аналого-цифровом преобразователе двоичного кода, составит

$$a = |\beta_{1m}| n^{-1} \quad (7)$$

где n – разрядность преобразователя, записанная в двоичном коде.

n	i, j	a°	Δ_{ak}°	δ_{ak}°	$\Delta\alpha^\circ$	$(\delta_{ka})_x, c^{-1}$	$(\delta_{ka})_z, c^{-1}$	$\Delta\alpha^\circ$
8	0,1	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	0,1	$0,54 \cdot 10^{-6}$	$0,16 \cdot 10^{-6}$	0,5
	1	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$13 \cdot 10^{-3}$	0,4	$0,67 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	0,6
12	0,1	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,05	$0,04 \cdot 10^{-6}$	$0,01 \cdot 10^{-6}$	0,05
	1	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$10,2 \cdot 10^{-3}$	0,3	$0,16 \cdot 10^{-6}$	$0,045 \cdot 10^{-6}$	0,15

Известно [5], что зона нечувствительности (a) в характеристике индикатора горизонта, т. е. в формируемом по сигналу индикатора горизонта демпфирующем моменте гирокомпыса, служит причиной возникновения у гирокомпыса устойчивых автоколебаний. Кроме того, эта зона вместе с нелинейностью характеристики индикатора, т. е. вместе с погрешностью преобразования аналога в код, является одной из причин погрешности гирокомпыса [4]. Величина этой погрешности определяется как

$$\Delta\alpha = c_z N_z (HU \cos \varphi)^{-1} (\Delta_{ak} + a), \quad \Delta_{ak} + a = \delta_{ak} \quad (8)$$

2. Далее рассмотрим влияние на погрешность гирокомпыса n -разрядного цифроаналогового преобразователя двоичного кода в аналог с погрешностью преобразования j . Максимальное значение преобразуемых величин определяется максимальным значением формируемых в процессоре угловых скоростей управления и коррекции движением чувствительного элемента гирокомпыса ω_x, ω_z .

Для гирокомпыса, рассмотренного в [4], простейший алгоритм управления и коррекции записывается так:

$$\begin{aligned} \omega_x &= k_x \beta + U \sin \varphi + v_E R^{-1} \operatorname{tg} \varphi + k_1 \theta_1 \\ \omega_z &= k_z \beta - v_N R^{-1} + k_2 \theta_2 \end{aligned} \quad (9)$$

где $k_1 \theta_1, k_2 \theta_2$ — угловые скорости компенсации постоянных составляющих азимутального и горизонтного дрейфа гироблока. Величины угловых скоростей ω_x, ω_z изменяются в зависимости от режима работы корректируемого гирокомпыса изменением значения k_x, k_z и имеют максимум в режиме горизонтирования и ускоренного приведения в меридиан; вблизи меридиана они определяются в основном значением угловых скоростей коррекции составляющих скорости и дрейфа.

Таким образом, если погрешность n -разрядного преобразователя код — аналог составляет j (%), то погрешность формируемых угловых скоростей управления и коррекции составит

$$\delta_{ka} = \omega_{mi} (n^{-1} + j) \quad (10)$$

где n — разрядность цифроаналогового преобразователя, записанная в двоичном коде. Соответственно, погрешность гирокомпыса составит

$$\Delta\alpha = [(\delta_{ka})_z + k_z k_x^{-1} (\delta_{ka})_x] U^{-1} \operatorname{sec} \varphi \quad (11)$$

Кроме того, погрешность $(\delta_{ka})_z$ будет проявлять себя аналогично погрешности δ_{ak} , т. е. увеличивает ширину зону нечувствительности в канале демпфирования и тем самым амплитуду устойчивых автоколебаний. Оценим погрешность гирокомпыса для 8- и 12-разрядных аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей с погрешностью преобразования i и j , равных для обоих случаев разрядности преобразования 0,1 и 1%. Принимая, что параметры гирокомпыса соответствуют [4], т. е. $c_z N_z = 3, k_z k_x^{-1} = 0,05, H = 4 \cdot 10^{-3}$ гсмс, $\varphi = 70^\circ, \omega_{zm} = 135 \cdot 10^{-6} c^{-1}, \omega_{zm} = 45 \cdot 10^{-6} c^{-1}, \beta_{1m} = 1^\circ$, пользуясь выражениями (8) и (11), получим величины составляющих погрешности гирокомпыса при выбранном типе преобразователей. Расчеты погрешности гирокомпыса, представленные в таблице, показывают, что применение мало-разрядных и неточных преобразователей увеличивает погрешность курсоуказания.

Далее рассмотрим погрешность, обусловленную собственно тактом работы процессора. При быстрейшем процессоре 10 Гц и угловой скорости качки $45 \cdot 10^{-6} c^{-1}$ погрешность курсовой информации, передаваемой потребителю, составит 1° , откуда следует, что быстрейшее процессора K для обеспечения мгновенной ошибки курса, равной $\delta\alpha$, должно быть при максимальной угловой скорости качки ω_{km} не менее, чем $K = \delta\alpha \omega_{km}^{-1}$. Например, при $\delta\alpha = 0,1^\circ$ и $\omega_{km} = 45 \cdot 10^{-6} c^{-1}$ должно быть $K = 100$ Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коган В. М., Чичинадзе М. В. Судовой гироазимут-компыс Вега. М.: Транспорт, 1983. 200 с.
2. Филин В. М. Особенности развития маятниковых гирокомпысов. — Судостроение за рубежом, 1984, № 6, с. 60–76.
3. Кончаловский В. Ю. Цифровые измерительные приборы. М.: Изд-е Моск. энерг. ин-та, ч. 1. 1974. 73 с.; ч. 2. 1976. 80 с.; ч. 3. 1978. 31 с.; ч. 4. 1979. 52 с.
4. Булдаков Б. В. Прикладная теория гироскопов. М.: Изд-во МГУ, 1976. 401 с.
5. Реут Д. В. О влиянии зоны нечувствительности маятников на работу корректируемого гирокомпыса. — Изв. вузов. Приборостроение, 1984, т. 27, № 1, с. 63–67.

Москва

Поступила в редакцию
5.X.1984