Г. И. ШМЕЛЕВ

СИСТЕМА СИЛОВОЙ ГИРОСТАБИЛИЗАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ СЧЕТНО-РЕШАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО УГЛУ СТАБИЛИЗАЦИИ

В работе рассматривается одна из частей общей задачи осуществления гибкой обратной связи по углу стабилизации до некоторых заданных критериев качества в системе силовой гироскопической стабилизации. Эта часть предусматривает с помощью введения дополнительных устройств (датчика угловых ускорений и датчика моментов на ось стабилизации, счетно-решающего устройства, реализующего линейный оператор) добиться компенсации внешних возмущений по оси стабилизации по наперед заданному закону, который вводится с помощью дополнительного устройства (рассмотрение данного устройства выходит за рамки нашей работы) путем изменения значений нулей, полюсов и передаточного коэффициента оператора, реализуемого счетно-решающим устройством.

Таким образом, в нашу задачу входит за счет введения некоторых дополнительных устройств добиться компенсации возмущений по оси стабилизации, другими словами, в некоторой степени завязать угол стабилизации с моментом компенсации или вообще с моментами, действующими по оси стабилизации.

Поставленная задача решается на примере одноосного силового гироскопического стабилизатора. Известно, что при определенных условиях эту задачу можно легко распространить и на трехосную силовую гироплатформу.

Уравнения одноосного гиростабилизатора

На основании работ Л. И. Сайдова [1] доказано, что уравнения трехосного гиростабилизатора в случае малости углов рассогласования осей стабилизации и осей подвеса распадаются на три неза-

висимые между собой системы дифференциальных уравнений, одну из которых в нашем случае можно записать в следующем виде:

$$
\begin{gathered}
I_1 \ddot{\alpha} + h_1 \dot{\alpha} + H \dot{\beta} = M_1 - M_2; \\
I_2 \ddot{\beta} + h_2 \dot{\beta} - H \dot{\alpha} = 0; \\
U_1 = k_1 \beta; \\
M_2 = k_2 u_1,
\end{gathered}
\tag{1}
$$

где I_1, I_2 — моменты инерции относительно осей стабилизации и прецессии соответственно;

h_1, h_2 — коэффициенты вязкого трения в осях стабилизации и прецессии соответственно;

H — кинетический момент гироскопа;

α — угол стабилизации;

β — угол прецессии;

M_1 — внешний момент, действующий по оси прецессии;

M_2 — момент стабилизации, приложенный к оси стабилизации;

U_1 — напряжение на выходе датчика угла прецессии;

K_1 — передаточный коэффициент датчика угла прецессии;

K_2 — передаточный коэффициент датчика момента.

В данном случае внешние моменты, действующие относительно оси прецессии, положили равными нулю.

Система уравнений (1) после преобразования ее по Лапласу при нулевых начальных условиях примет следующий вид:

$$
\begin{gathered}
(I_1 S^2 + h_1 S)\, \alpha(S) + HS\, \beta(S) = M_1(S) - H_2(S); \\
(I_2 S^2 + h_2 S)\, \beta(s) - HS\, \alpha(S) = 0; \\
U_1(s) = k_1 \beta(s); \\
M_2(s) = k_2 U_1(s)
\end{gathered}
\tag{2}
$$

На основании системы уравнений (2) после некоторых преобразований и упрощений структурная схема одноосного силового гиростабилизатора (в дальнейшем будем именовать просто гиростабилизатором) может быть представлена, как показано на рис. 1.

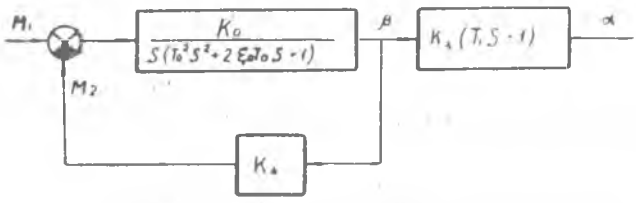

Рис. 1.

На рис. 1 обозначено

K_0 — передаточный коэффициент одноосной гироплатформы, который находится из уравнения

$$k_0 = \frac{H}{h_1 h_2 + H^2}, \tag{3}$$

T_0 — постоянная времени платформы, которая определяется из уравнения

$$T_0 = \sqrt{\frac{I_1 I_2}{h_1 h_2 + H^2}}, \tag{4}$$

k_3 — передаточный коэффициент, связывающий угол стабилизации и угол прецессии

$$k_3 = \frac{h_2}{H}, \tag{5}$$

T_1 — постоянная времени связи угла стабилизации с углом прецессии

$$T_1 = \frac{I_2}{h_2}; \tag{6}$$

ξ_0 — коэффициент демпфирования платформы, который легко находится из уравнения

$$2\xi_0 T_0 = \frac{I_2 h_1 + I_1 h_2}{h_1 h_2 + H^2}, \tag{7}$$

k_4 — передаточный коэффициент стабилизатора, определяемый как

$$k_4 = k_1 \cdot k_2. \tag{8}$$

Из анализа структурной схемы гиростабилизатора (рис. 1) следует, что система гиростабилизации не имеет обратной связи по углу стабилизации α, а, рассматривая работу гиростабилизатора, легко убедиться в том, что прямым путем, то есть непосредственно в период работы гиростабилизатора осуществить обратную связь по углу стабилизации невозможно без дополнительного введения внешней информации от астронавигационных, радионавигационных и др. устройств.

В данной работе, являющейся одним из шагов в направлении осуществления собственной обратной связи по углу стабилизации, ставится задача создания контура компенсации внешнего момента, действующего по оси стабилизации.

Уравнения контура компенсации внешнего момента

Если в обычном силовом гиростабилизаторе на ось стабилизации установить дополнительно датчик углового ускорения и датчик момента, то система уравнений, из которой можно будет найти

связь угла стабилизации с внешним моментом, может быть представлена в следующем виде:

$$
\begin{gathered}
I_1\ddot{\alpha} + h_1\dot{\alpha} + H\dot{\beta} = M_3; \\
I_2\ddot{\beta} + h_2\dot{\beta} - H\dot{\alpha} = 0; \\
u_2 = k_5\ddot{\alpha}; \\
u_3 = w_1 u_2; \\
M_3 = k_2 u_3,
\end{gathered}
\tag{9}
$$

где M_3 — компенсирующий момент;

U_2 — напряжение на выходе датчика углового ускорения;

U_3 — напряжение на входе датчика момента;

W_1 — передаточная характеристика, связывающая напряжение входа датчика момента с напряжением выхода датчика углового ускорения.

После преобразования по Лапласу при нулевых начальных условиях система уравнений (9) перепишется следующим образом:

$$
\begin{gathered}
(I_1 s^2 + h_1 s)\,\alpha(s) + Hs\,\beta(s) = M_3(s), \\
(I_2 s^2 + h_2 s)\,\beta(s) - H s\,\alpha(s) = 0, \\
u_2(s) = k_5 \zeta^2 \cdot \alpha(s), \\
u_3(s) = w_1(s)\; u_2(s), \\
M_3 = k_2 u_3(s).
\end{gathered}
\tag{10}
$$

Система уравнений (10) дает возможность легко найти неизвестный оператор W_1 (s), то есть

$$
W_1(s) = \frac{u_3(s)}{u_2(s)} = \frac{k_6(T_2^2 s^2 + 2\xi_2 T_2 s + 1)}{\zeta(T_3\zeta + 1)},
\tag{11}
$$

где

$$
k_6 = \frac{h_1 h_2 + H^2}{k_2 k_5 h_2};
$$

$$
T_2 = \sqrt{\frac{I_1 I_2}{h_1 h_2 + H^2}};
$$

$$
T_3 = \frac{I_2}{h_2};
$$

$$
\xi_2 = \frac{I_2 h_1 + I_2 h_2}{(h_1 h_2 + H^2)\,2T_2}.
$$

На основании структурной схемы (рис. 1), системы уравнений (10) и уравнения (11) структурная схема одноосного силового гиростабилизатора с контуром компенсации внешнего момента может быть представлена, как показано на рис. 2.

Из структурной схемы (рис. 2) следует, что для осуществления компенсации внешнего момента необходимо реализовать линейный операторуравнение (11) с помощью счетно-решающего устройства.

А для того, чтобы эту компенсацию производить по определенному наперед заданному закону, необходимо предусмотреть возможность регулирования параметров линейного оператора $W_1(s)$. Описание цепи и назначения устройства, производящего регулирование параметров линейного оператора, выходит за рамки настоящей работы.

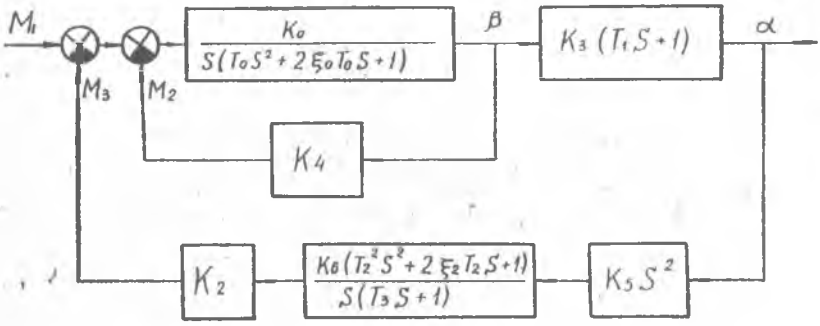

Рис. 2.

В задачу данной работы входит описание возможности реализации оператора W_1 (s) на цифровой вычислительной машине (ЦВМ).

Реализация оператора $W_1(s)$ на цифровой вычислительной машине (ЦВМ)

Из теории дискретных систем автоматического управления известно, что если мы включаем ЦВМ в замкнутый контур управления, то в этом случае, как бы механически, вводятся три элемента:

1) преобразователь непрерывного сигнала в дискретный (ПНД);

2) собственно цифровая машина (ЦМ), производящая математические и логические операции;

3) преобразователь дискретных величин в непрерывный сигнал (ПДН).

Линейный оператор непосредственно может реализовать W_1 (s) только собственно цифровая машина, так как только она способна проводить определенные математические и логические операции, а преобразователи НД и ДН служат как бы связывающими звеньями между непрерывным и дискретным сигналом и наоборот.

Известно (из 3 и 4), что в случае, если:

а) данные, поступающие в ЦМ, являются дискретными и подаются с постоянной скоростью, то есть время между последовательными дискретными значениями является постоянным;

б) время задержки из-за процессов вычисления мало, в противном случае оно должно быть учтено;

в) ЦМ устанавливает взаимооднозначное соответствие между входной и выходной величинами;

г) ЦМ выполняет линейно операции и работает в реальном времени, используя только прошлую и настоящую информацию,— цифровая машина проводит математические операции, определяемые уравнением

$$x^*(t) = \sum_{\kappa=0}^{m} Q_k g^*(t - kT) - \sum_{\kappa=1}^{n} b_\kappa x^*(t - k_т), \tag{12}$$

где $x^*(t)$ — последовательность выходных импульсов;

$g^*(t)$ — последовательность входных импульсов.

Из вышесказанного следует, что для того, чтобы ЦМ могла реализовать линейный оператор вида (11), необходимо последний преобразовать к виду уравнения (12), то есть записать линейный оператор в виде разностного уравнения.

Для нахождения разностного уравнения по имеющемуся линейному оператору, который для наглядности еще раз перепишем в виде:

$$W_1(s) = \frac{k_6(T_2^2 s^2 + 2s_2 T_2 s + 1)}{s(T_3 s + 1)} = \frac{u_3(s)}{u_2(s)},$$

преобразуем его по z по известной методике нахождения — преобразования способом вычисления вычетов (3). Найдем вычеты уравнения (11).

$$\text{Вычет при } p = 0 = \left[\frac{\dfrac{k_6(T_2^2 p^2 + 2\xi_2 T_2 p + 1)(p+0)}{p\left(p + \dfrac{1}{T_3}\right)T_3}}{1 - e^{-pT} z^{-1}}\right]_{p=0} = \frac{k_6}{1 - z^{-1}}. \tag{13}$$

$$\text{Вычет при } p = -\frac{1}{T_3} = \left[\frac{\dfrac{k_6(T_2^2 p^2 + 2\xi_2 T_2 p + 1}{p\left(p + \dfrac{1}{T_3}\right)T_3} p + \dfrac{1}{T_3}}{1 - e^{-pm} z^{-1}}\right]_{p=-\frac{1}{T_3}} = \frac{k_6'}{1 - e^{-aT} z^{-1}}, \tag{14}$$

где

$$k_6' = k_6\left[\left(\frac{T_2}{T_3}\right)^2 - 2\xi_2 \frac{T_2^*}{T_3} + 1\right];$$

$$a = \frac{1}{T_3}.$$

Откуда z — преобразование уравнения (11) примет вид

$$W_1(z) = \begin{pmatrix} Re\, s \\ p=0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Re\, s \\ p=-\frac{1}{T_3} \end{pmatrix} =$$

$$= \frac{k_6(z-e^{-aT}) + k_6'(z-1)}{(z-1)(z-e^{-aT})} = \frac{u_3(z)}{u_2(z)}.$$

Из уравнения (15) легко находится z — преобразование напряжения на входе датчика момента, то есть

$$u_3(z)z^2 = [u_2(z)(k_6 - k_6')z - u_2(z)(k_6 e^{-aT} + k_6')] +$$
$$+ [u_3(z)(1 + e^{-aT})z - u_3(z)e^{-aT}]$$

или

$$u_3(z) = [u_2(z)A_1 z^{-1} - u_2(z)A_2 z^{-2}] + [u_3(z)B_1 z^{-1} - \tag{16}$$
$$- u_3(z)B_2 z^{-2}],$$

где

$$A_1 = k_6 - k_6', \quad A_2 = (k_6 e^{-aT} + k_6'),$$
$$B_1 = 1 - e^{-aT}, \quad B_2 = e^{-aT}.$$

Заменяя z^{-1} — через e^{-ST} уравнение (16) перепишется в следующем виде:

$$u_3^*(s) = [u_2^*(s)A_1 e^{-ST} - u_2^*(s)A_2 e^{-2ST}] + u_3^*(s)B_1 e^{-ST} -$$
$$- u_3^*(s)B_2 e^{-2ST}. \tag{17}$$

Обратное преобразование Лапласа от уравнения (17) дает

$$u_3^*(t) = [A_1 u_2^*(t-T) - A_2 u_2^*(t-2T)] +$$
$$+ [B_1 U_3^*(t-T) - B_2 u_3^*(t-2T)]. \tag{18}$$

Сравнивая уравнения (18) и (12), легко заметить что уравнение (18) есть частный случай наиболее общего уравнения (12). Это доказывает возможность реализации линейного оператора (уравнение 11) на цифровой вычислительной машине.

Из анализа уравнения (18) следует вывод, что для его реализации потребуется достаточно простое счетно-решающее устройство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что с вводом в систему гиростабилизации достаточно несложных устройств можно добиться компенсации внешних возмущений.

Кроме того, следует отметить, что счетно-решающее устройство будет тем точнее производить реализацию линейного оператора, чем меньше период дискретности или чем выше быстродействие счетно-решающей машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Сайдов. Устойчивость движения силовых гироскопических стабилизаторов. Известия Ленинградского политехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина), вып. XXXIV, Л., 1958.

2. Л. Т. Кузин. Расчет и проектирование дискретных систем управления. Машгиз., М., 1962.

3. Юлиус Т. ТУ. Цифровые и импульсные системы автоматического управления. Изд-во «Машиностроение», М., 1964.

4. А. Г. Гетманов. Динамические особенности реализации некоторых линейных операций на цифровой вычислительной машине. Автоматическое управление и вычислительная техника, вып. 3, Машгиз, 1960.