

## О ДВУХ СПОСОБАХ СТАБИЛИЗАЦИИ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО МОМЕНТА СИЛОВОГО ГИРОСКОПА

Е. И. ГРОМАКОВ, В. А. ГЕРАСИМЕНКО, А. М. МАЛЫШЕНКО

(Представлена научным семинаром кафедры автоматики и телемеханики)

Известно, что гироскопический момент гиросtabilизатора зависит от углового положения вектора кинетического момента гироскопа и определяется выражением

$$M_{\Gamma} = H\dot{\theta}\cos\theta, \quad (1)$$

где  $H$  — собственный кинетический момент гироскопа;  
 $\theta$  — угол прецессии гироскопа.

Иногда в системах гиросtabilизации возникает задача использования гироскопического момента для управления объектами. В этом случае нелинейная зависимость его от угла поворота вектора кинетического момента, т. е. от угла прецессии, является нежелательной.

С целью устранения влияния угла поворота гирокамеры гироскопа на уровень выходного момента рассмотрим и оценим два возможных способа решения поставленной задачи: способ стабилизации уровня гироскопического момента по угловому положению вектора кинетического момента и способ компенсации. Система стабилизации уровня гироскопического момента может быть построена на основании использования информации о величине гироскопического момента. Один из вариантов такой схемы показан на рис. 1.

Будем полагать, что моментный двигатель является машиной постоянного тока, а тахогенератор (ТГ) и синусо-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ) — переменного тока. Поэтому сигналы с ТГ и СКВТ после демодуляции проходят через фильтры.

Величина  $h$  определяет коэффициент обратной связи. Дифференциальные уравнения, описывающие динамику системы стабилизации уровня гироскопического момента, имеют вид:

$$I_0 \frac{d^2\theta}{dt^2} + I_d i^2 \frac{d^2\alpha_d}{dt^2} = iM_d;$$

$$M_d = \kappa_d \cdot \Delta U + Si \frac{d\alpha_d}{dt};$$

$$\Delta U = U - U_3;$$

$$U_3 = hU_1U_2;$$

$$U_1 + T_1 \frac{dU_1}{dt} = \kappa_{\text{ТГ}} \kappa_{\text{Ф}_1} \dot{\alpha}_d;$$

$$U_2 + T_2 \frac{dU_2}{dt} = \kappa_{\text{Ф}_2} \cos \theta;$$

$$\dot{\theta} = \frac{1}{i} \dot{\alpha}_d. \quad (2)$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$I_0$  — момент инерции гиromотора;

$I_d$  — момент инерции ротора моментного двигателя;

$K_d$  — коэффициент передачи моментного двигателя;

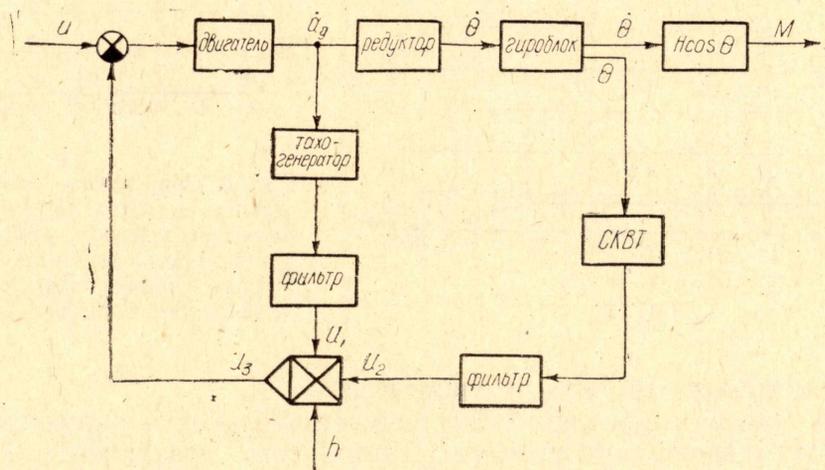


Рис. 1. Функциональная схема системы стабилизации уровня гироскопического момента силового гироскопа

$i$  — коэффициент редукции редуктора;

$S$  — коэффициент скоростного трения;

$K_{\text{ТГ}}$  — коэффициент передачи тахогенератора;

$\theta$  — угол поворота гирокамеры;

$T_1, T_2, \kappa_{\text{Ф}_1}, \kappa_{\text{Ф}_2}$  — параметры фильтров.

На основании уравнений (2) могут быть построены зависимости установившегося значения  $M_{\text{Г}}$  в функции угла поворота гирокамеры при различных значениях коэффициента обратной связи  $h$  (рис. 2). Из этих графиков можно заключить, что для уменьшения влияния угла поворота кинетического момента на величину  $M_{\text{Г}}$  следует увеличивать коэффициент обратной связи  $h$ .

Для оценки качества подобного типа систем стабилизации уровня гироскопического момента было рассмотрено влияние нелинейностей типа зоны нечувствительности тахогенератора и момента сухого трения на величину  $M_{\text{Г}}$ . Графики, показывающие это влияние, представлены на рис. 3 и 4. Из этих графиков видно, что указанные нелинейности по-разному влияют на зависимость  $M_{\text{Г}}(\theta)$ . Увеличение зоны нечувствительности тахогенератора приводит к увеличению выходного момента, но в то же время увеличивает нелинейность зависимости  $M_{\text{Г}}(\theta)$ . Объяснить это можно следующим образом. При небольших значениях входного напряжения  $U$  (рис. 1) угловая скорость моментного двигателя близка к зоне нечувствительности тахогенератора.

В связи с этим сигнал обратной связи становится слабым, и, следовательно, момент управления оказывается более высоким, нежели при меньшей зоне нечувствительности тахогенератора.

С другой стороны, уменьшение сигнала обратной связи приводит к меньшей эффективности цепи обратной связи системы стабилизации и, следовательно, к большему влиянию угла поворота век-

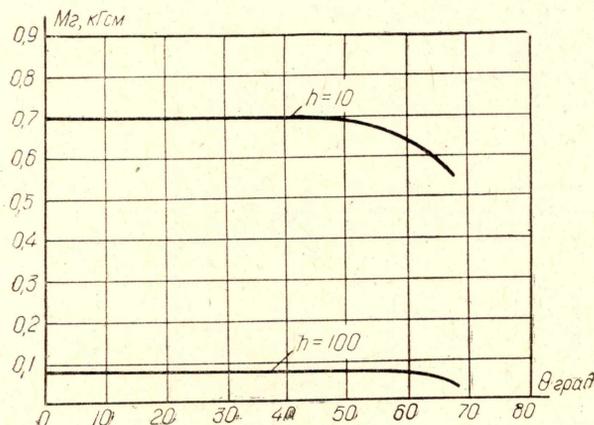


Рис. 2

тора кинетического момента на уровень  $M_g$ .

Сухое трение определяет зону нечувствительности характеристики  $M_g(U)$  в установившемся режиме. Кроме того, увеличение момента сухого трения приводит к уменьшению скорости вращения двигателя, что в свою очередь приводит к уменьшению величины гироскопического момента (рис. 2в). Приведенные графики были получены при следующих значениях параметров системы:

$$\begin{aligned} k_d &= 10 \text{ гсм/в}; & H &= 10^6 \text{ гсм/сек}^2; & k_{\phi 1} &= k_{\phi 2} = 0,8; \\ k_{\Gamma} &= 0,1 \text{ всек}; & i &= 2400. \end{aligned}$$

Ввиду того, что основная цель анализа заключалась в определении качественных характеристик системы стабилизации, значения зоны нечувствительности, величины момента сухого трения, величины подаваемого на моментный двигатель напряжения принимались варьируемыми.

Другим способом поддержания гироскопического момента на уровне, не зависящем от угла поворота вектора кинетического момента, является компенсация косинусной зависимости  $M_g$  путем изменения угловой скорости  $\dot{\theta}$  по обратно-косинусному закону в функции угла поворота гирокамеры.

Рассмотрим один из вариантов такой компенсации — механическую схему, построенную на некруглых зубчатых колесах-шестернях [2]. Согласно уравнению (1), механическое устройство должно создавать скорость, приложенную к гирокамере и зависящую от ее углового положения, т. е.

$$\dot{\theta} = \frac{\dot{y}}{\cos \theta}, \quad (3)$$

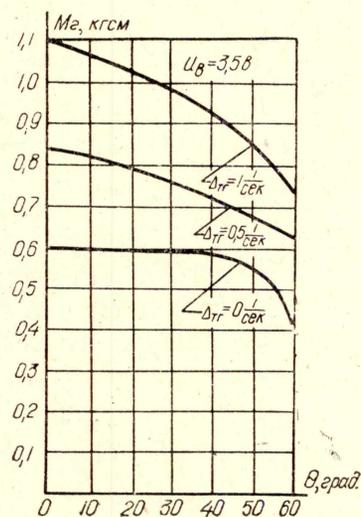


Рис. 3. Зависимость гироскопического момента  $M_g$  гироскопа от угла  $\theta$  поворота вектора его кинетического момента при различных уровнях зоны нечувствительности тахогенератора  $\Delta_{tr}$

где

$$\dot{y} = \frac{\dot{\alpha}_d}{i} \quad (4)$$

Зададимся целью создать функциональное устройство, позволяющее получить следующую зависимость между углами выхода и входа:

$$y = \sin \theta. \quad (5)$$

Тогда угловые скорости выхода будут связаны соотношением

$$\dot{y} = -\dot{\theta} \cos \theta. \quad (6)$$

Следовательно, если поменять местами вход и выход, то получим выражение (3). Устройство, позволяющее получать функцию (5), подробно рассмотрено в [3] и имеет вид, показанный на рис. 5. На этом рисунке приняты следующие обозначения:

1, 2 — некруглые колеса, форма которых представляет собой замкнутые выпуклые центроиды;

3, 4 — пара круглых колес (зубчатых шестерней);

5 — дифференциал.

Полагая  $y$  — входом, а  $\theta$  — выходом, получаем требуемую зависимость (3). Эту схему можно представить замкнутым контуром, показанным на рис. 6, где

$W_1 = \frac{1}{2}$  — передаточная функция передачи на круглых колесах;

$W_2 = 1 + \frac{1}{2} \cos \theta$  — передаточная функция передачи на некруглых колесах;

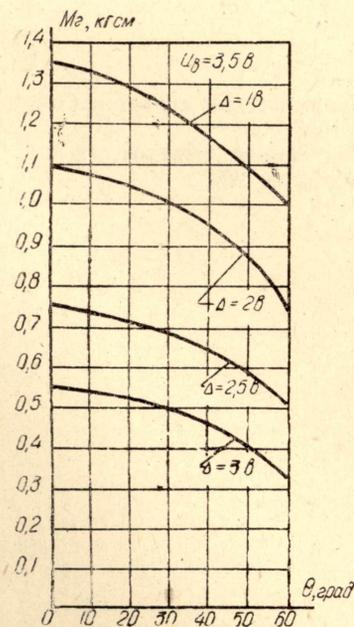


Рис. 4. Зависимость гироскопического момента  $M_g$  гироскопа от угла  $\theta$  поворота вектора его кинетического момента при различных зонах нечувствительности  $\Delta_{дв}$  двигателя, обусловленных моментом сухого трения

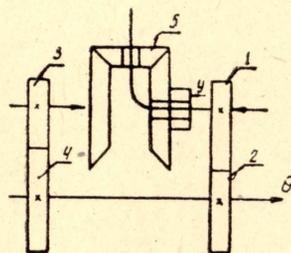


Рис. 5

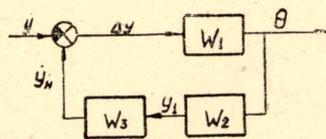


Рис. 6

$W_3 = 2$  — передаточная функция соединения водила и дифференциала.

Важным преимуществом такой схемы компенсации является надежность и точность воспроизведения функциональной зависимости (5), а следовательно, и высокая точность компенсации. При такой схеме

компенсации ее точность зависит от погрешности ввода независимой переменной  $y$  и погрешности изготовления и сборки колесных зацеплений. Последняя погрешность может быть сведена до уровня 0,02—0,04 процентов.

### Заключение

1. Статические характеристики и системы стабилизации уровня гироскопического момента, и системы компенсации имеют зону нечувствительности, определяемую моментом сухого трения. С этой точки зрения обе схемы равнозначны.

2. Точность поддержания независимости гироскопического момента от углового положения вектора кинетического момента в первой схеме определяется коэффициентом усиления разомкнутой системы. В случае малого коэффициента усиления прямой цепи точность в этой схеме будет определяться коэффициентом обратной связи и будет тем выше, чем больше его значение. В схеме, построенной на основе компенсации, точность определяется в первую очередь погрешностью изготовления редуктора.

3. Из соображений надежности предпочтение следует отдать схеме компенсации.

4. Элементы, входящие в контур системы стабилизации уровня гироскопического момента, вносят свои погрешности, снижающие точность поддержания уровня гироскопического момента.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Бесекерский, Е. А. Фабрикант. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации. Л., Изд-во «Судостроение», 1968.
  2. Ф. Л. Литвин. Теория зубчатых соединений. М., Изд-во «Наука», 1968.
  3. Ф. Л. Литвин. Некруглые зубчатые колеса. Л., Машгиз, 1956
-