

$$A_r \ddot{\alpha}_1 + D \dot{\alpha}_1 + H \dot{\beta}_1 = -A_r \ddot{\alpha}_n - (C + B_1 - J_1) \dot{\phi} \dot{\beta}_n + M_{\xi}^n; \quad (3.5)$$

$$A_r \ddot{\beta}_1 + D \dot{\beta}_1 - H \dot{\alpha}_1 = -A_r \ddot{\beta}_n + (C + B_1 - J_1) \dot{\phi} \dot{\alpha}_n + M_{\eta}^n.$$

Учитывая (3.3), получаем

$$A_r \ddot{\alpha}_r + D \dot{\alpha}_r + H \dot{\beta}_r = J_1 \dot{\phi} \dot{\beta}_n + M_{\xi}^n; \quad (3.6)$$

$$A_r \ddot{\beta}_r + D \dot{\beta}_r - H \dot{\alpha}_r = -J_1 \dot{\phi} \dot{\alpha}_n + M_{\eta}^n.$$

Запишем уравнения (3.4), (3.6) в операторной форме, приняв, что

$$M_{\xi}^n = K_y W_p(s) \alpha_1, \quad (3.7)$$

$$M_{\eta}^n = K_y W_p(s) \beta_1,$$

где $K_p W_p(s)$ — передаточная функция регулятора, а $K_y = K_{\text{дв}} K_p K_{\text{м}}$. Здесь $K_{\text{дв}}$ — коэффициент передачи датчика угла ДНГ, $K_{\text{м}}$ — коэффициент передачи по моменту двигателя стабилизации.

В результате получаем

$$J_n s^2 \alpha_n + D_n s \alpha_n + K_y W(s) \alpha_1 = N_{\xi}^n; \quad (3.8)$$

$$J_n s^2 \beta_n + D_n s \beta_n + K_y W(s) \beta_1 = N_{\eta}^n;$$

$$A_r s^2 \alpha_r + D_r s \alpha_r + H s \beta_r = J_1 \dot{\phi} s \beta_n + M_{\xi}^n;$$

$$A_r s^2 \beta_r + D_r s \beta_r - H s \alpha_r = -J_1 \dot{\phi} s \alpha_n + M_{\eta}^n;$$

$$\alpha_r = \alpha_n + \alpha_1;$$

$$\beta_r = \beta_n + \beta_1.$$

На основании полученных уравнений составлена структурная схема гиросtabilизатора на ДНГ (рис. 3.3). В настоящей схеме можно выделить два канала регулирования по координатам α_n , β_n , определяющим положение платформы, между которыми имеются перекрестные связи по гироскопическому моменту, определяемые звеньями с передаточной функцией, равной Hs . Пунктиром обозначены дополнительные перекрестные связи, имеющиеся в данном гиросtabilизаторе в отличие от гиросtabilизатора на трехстепенном свободном гироскопе.

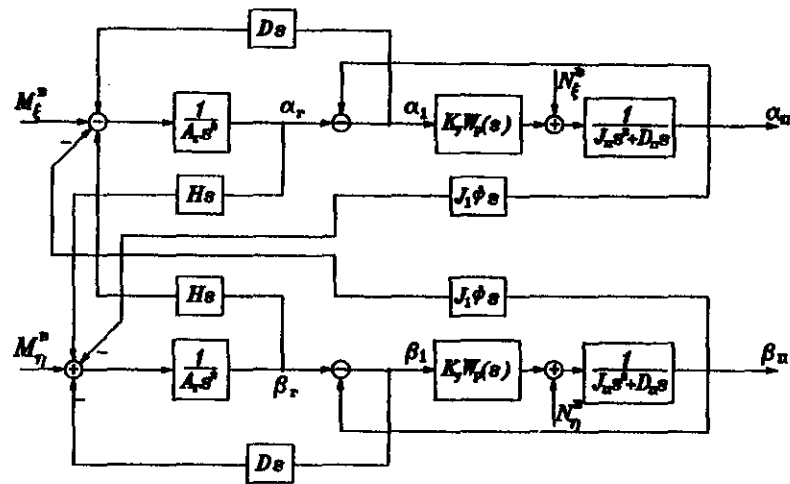


Рис. 3.3. Структурная схема двухосного гиросtabilизатора на ДНГ

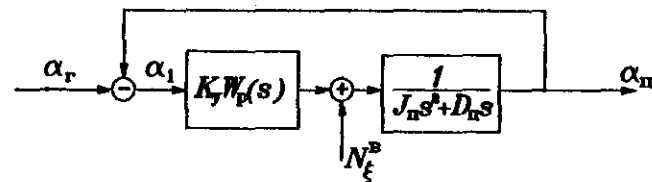


Рис. 3.4. Структурная схема системы стабилизации

Обозначим передаточную функцию одного канала системы стабилизации, структурная схема которой изображена на рис. 3.4, как $\Phi_{cc}(s)$, при этом

$$\Phi_{cc}(s) = \frac{K_y W_p(s)}{J_n s^2 + D_n s + K_y W_p(s)} = \frac{\alpha_n}{\alpha_r} = \left(\frac{\beta_n}{\beta_r} \right). \quad (3.9)$$

Тогда структурная схема на рис. 3.3 может быть последовательно преобразована к виду, изображенному на рис. 3.5, а затем — на рис. 3.6.

Настоящий вид структурной схемы гиросtabilизатора на ДНГ характерен тем, что в нем каждый канал системы стабилизации выделен в отдельный самостоятельный элемент, подключенный к авто-

матической системе, структурная схема которой обведена на рис. 3.6 пунктиром. Последняя по форме совпадает со структурной схемой ДНГ на неподвижном основании (см. рис. 1.10), однако элементы передаточных функций входящих в нее звеньев зависят от передаточной функции одноканальной системы стабилизации $\Phi_{cc}(s)$.

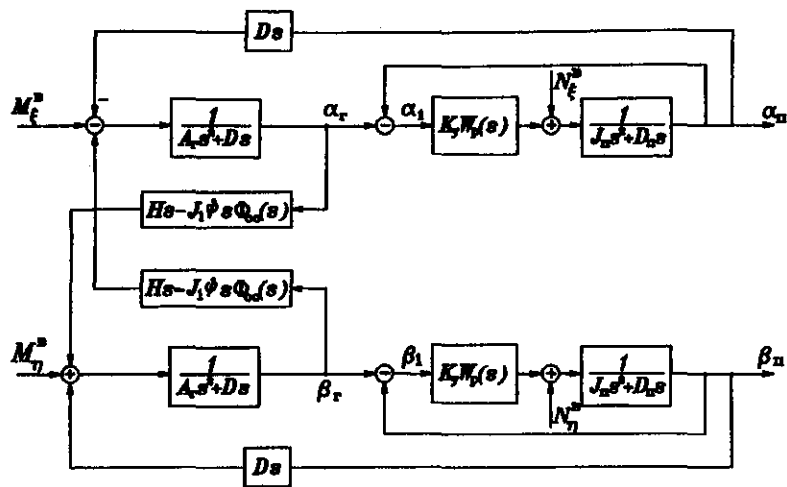


Рис. 3.5. Преобразованная структурная схема гиросtabilизатора

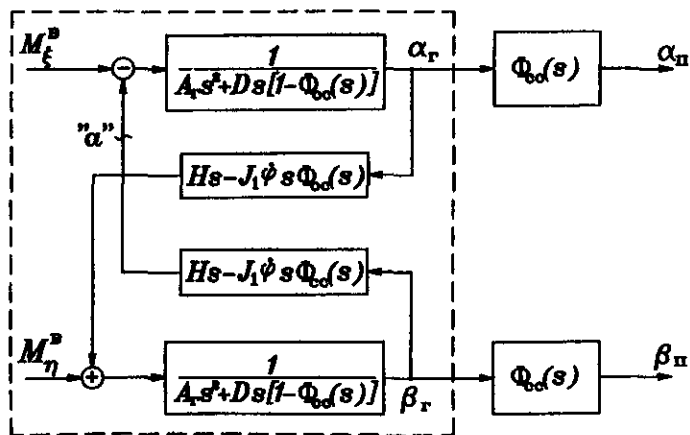


Рис. 3.6. Преобразованная структурная схема гиросtabilизатора

Составим передаточную функцию гиросtabilизатора по одному из выходов (например, α_n) относительно момента (M_x^p), воздействующего на гироскоп по тому же каналу, в следующем виде:

$$\Phi(s) = \Phi_r(s)\Phi_{cc}(s), \quad (3.10)$$

где $\Phi_r(s)$ — передаточная функция системы, структурная схема которой обведена на рис. 2.6 пунктиром, определяется выражением

$$\Phi_r(s) = \frac{1}{A_r s^2 + D_r s [1 - \Phi_{cc}(s)]} \cdot \frac{1}{1 + \frac{[Hs - J_1 \dot{\phi} s \Phi_{cc}(s)]^2}{\{A_r s^2 + D_r s [1 - \Phi_{cc}(s)]\}^2}}, \quad (3.11)$$

или после преобразований

$$\Phi_r(s) = \frac{1}{s} \times \frac{\{A_r s + D_r [1 - \Phi_{cc}(s)]\}}{A_r s^2 + 2A_r D_r s [1 - \Phi_{cc}(s)] + D_r^2 [1 - \Phi_{cc}(s)]^2 + [H - J_1 \dot{\phi} \Phi_{cc}(s)]^2}. \quad (3.12)$$

Выражение (3.12) представляет собой передаточную функцию ДНГ на подвижном основании, которым является платформа гиросtabilизатора. Оно отличается от передаточной функции трехстепенного свободного гироскопа дополнительным слагаемым $J_1 \dot{\phi} \Phi_{cc}(s)$ в последнем члене знаменателя, а от передаточной функции ДНГ на неподвижном основании (1.63) — дополнительным множителем $[1 - \Phi_{cc}(s)]$ при коэффициенте демпфирования D_r .

3.2. Устойчивость гиросtabilизатора на ДНГ

Обратимся к передаточной функции гиросtabilизатора, определяемой выражением (3.10). Известно, что в устойчивом гиросtabilизаторе все корни $\Phi(s)$ должны быть расположены на комплексной плоскости слева от мнимой оси. Из (3.10) следует, что слева от мнимой оси должны быть расположены как корни $\Phi_{cc}(s)$, так и корни $\Phi_r(s)$ (при этом допускается один нулевой корень в $\Phi_r(s)$, как это будет показано ниже).

Таким образом, можно считать, что гиросtabilизатор устойчив, если устойчивы отдельно система стабилизации и ДНГ на подвижном основании.

Такой подход позволяет рассчитывать систему стабилизации гиросtabilизатора независимо от ДНГ, что важно для упрощения расчетов. При этом, однако, учитываются некоторые требования к системе стабилизации, характеризующиеся применением ДНГ в качестве чувствительного элемента гиросtabilизатора, определенные в конце первой главы, и требования, вытекающие из необходимости обеспечения устойчивости ДНГ на подвижном основании, вытекающие из анализа передаточной функции $\Phi_r(s)$. Такой подход возможен, поскольку влияние передаточной функции $\Phi_{cc}(s)$ на устойчивость ДНГ невелико, как это будет показано в данном параграфе.

Расчет системы стабилизации может проводиться известными методами, изложенными, например, в [3, 4]. Особенности такого расчета, связанные с применением ДНГ, отмечены в § 3.3. В данном разделе примем, что параметры системы стабилизации выбраны и что этот выбор обеспечивает устойчивость и заданное качество регулирования по выходной координате α_n (β_n).

Влияние передаточной функции системы стабилизации $\Phi_{cc}(s)$ на устойчивость ДНГ, установленного на платформу гиросtabilизатора, может быть определено из выражения (3.12). Так, если считать, что основание неподвижно, т. е.

$$\Phi_{cc}(s) = 0,$$

то

$$\Phi_r(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{A_r s + D}{A_r s^2 + 2A_r Ds + (H^2 + D^2)},$$

что совпадает с передаточной функцией идеального ДНГ на неподвижном основании, определенной выражением (1.63), а также с передаточной функцией трехстепенного гироскопа. Это выражение имеет один нулевой корень и на основании критерия устойчивости Гурвица соответствует неустойчивой системе. Однако, если составить передаточную функцию по скорости ДНГ

$$\Phi_r'(s) = \frac{\alpha_n}{M_\xi^b} = s\Phi_r(s) = \frac{A_r s + D}{A_r s^2 + 2A_r Ds + (H^2 + D^2)},$$

то она не будет содержать нулевого корня, что соответствует устойчивой системе при $D > 0$. Это отражает известное свойство трехстепенного гироскопа, заключающееся в том, что асимптотически устойчивый по угловой скорости гироскоп является нейтральным по угловому положению. В дальнейшем под устойчивым гироскопом будем принимать прибор, устойчивый по угловой скорости, как это принято в литературе.

Таким образом, идеальный ДНГ на неподвижном основании при $D > 0$ устойчив, как это и было более подробно показано в главе 1.

Если, наоборот, принять, что система стабилизации идеальна, т. е. $\Phi_{cc}(s) = 1$, то выражение (3.12) принимает вид

$$\Phi_r(s) = \frac{A_r}{A_r s^2 + [H - j_1 \dot{\phi}]^2}. \quad (3.13)$$

При этом $\Phi_r(s)$ имеет два чисто мнимых корня, что соответствует неустойчивой системе. Таким образом, стремление к идеальной системе стабилизации приводит к неустойчивости ДНГ и всего стабилизатора и поэтому нецелесообразно.

Это объясняется тем, что при идеальной работе системы стабилизации относительные скорости между ротором ДНГ и платформой вокруг осей чувствительности равны нулю, что соответствует отсутствию демпфирующих моментов и, как следствие, неустойчивости гиросtabilизатора.

Реальная система стабилизации имеет ограниченную полосу частот обработки входного сигнала. Типовая асимптотическая ЛАХ системы стабилизации может быть построена по ее передаточной функции (39). Для случая $W_p(s) = 1$ она изображена на рис. 3.7.

Круговая частота ω_n определяет полосу пропускания системы стабилизации.

Выбор $W_p(s) \neq 1$ обычно не изменяет типового характера амплитудной характеристики, который определяется тем, что до частоты ω_n амплитудно-частотная характеристика близка к единице, а в зоне высоких частот, превышающих ω_n , стремится к нулю. Если выбрать ω_n значительно меньше нутационной частоты гироскопа $\frac{1}{T_n}$ (что всегда имеет место в гиросtabilизаторах на ДНГ), то амплитудная