

В первом приближении динамические процессы, создающие противо-ЭДС, можно не учитывать. Тогда уравнение (3) принимает вид

$$R'(T'p+1)i_{SY} = W_{\omega}\omega_{y2} - W_{\alpha}\alpha - C_E\omega. \quad (4)$$

При условии, что  $T_S \ll T_R$ , получаем:

$$R' = R; T' = 2T_S; C_E = z \left( k + \frac{L}{L_m} \right) \Psi_{RX}.$$

Замечаем, что уравнение (4) аналогично уравнению двигателя постоянного тока (ДПТ) с параллельным возбуждением, в котором магнитный поток в переходном режиме отстает от тока якоря, т. к. его обмотка возбуждения имеет постоянную времени, большую по величине, чем постоянная времени якорной обмотки. В АД такое отставание может быть уменьшено за счет увеличения добротности по контуру потосцепления ротора.

Из уравнений (4) получаем передаточную функцию АД, работающего в режиме асинхронного моментного датчика (АМД).

$$W_{AMD} = \frac{M}{U_2} = \frac{k_{AMD}}{T'p+1}, \quad (5)$$

$$\text{где } k_{AMD} = \frac{1,5zk\Psi_{RX}i_{SY}}{R'}.$$

Для уменьшения постоянной времени  $T'$  в асинхронном электроприводе (АЭП) введем отрицательную обратную связь по току  $i_{SY}$  с коэффициентом  $k_i$ . Тогда при условии, что  $k_i k_0 \gg R'$ , передаточная функция АЭП принимает вид  $W_{AЭП} = \frac{M}{U_2} = \frac{K}{T_i p + 1}$ ,

$$\text{где } T_i = \frac{T'R'}{k_0 k_i}; K = \frac{1,5zk\Psi_{RX}}{k_i}.$$

Коэффициент прямой цепи  $k_0$  и обратной

связи  $k_i$  выбираем из условия сохранения общего коэффициента передачи и уменьшения постоянной времени  $T_i$ :

$$k_i = R'; T_i = \frac{T'}{k_0}.$$

При изодромном корректирующем устройстве  $\frac{k_0(T_K p + 1)}{R' p}$  в прямой цепи уравнения АЭП с ОС по току будут иметь следующий вид:

$$(T' p + 1)i_{SY} = \frac{k_0(T_K p + 1)}{R' p}(U_2 - k_i i_{SY}).$$

При условии, что  $T_K = T'$ , передаточная функция АЭП будет иметь вид аperiодического звена:

$$\frac{M}{U_2} = \frac{K_{II}}{T_{II} p + 1},$$

$$\text{где } K_{II} = \frac{1,5zk\Psi_{RX}}{k_i}; T_{II} = \frac{R'}{k_0 k_i}.$$

Принимаем  $k_i = R'$ , тогда для уменьшения постоянной времени ( $T_{II} < T'$ ) необходимо обеспечить  $k_0 > 1/T'$ .

Таким образом, характеристики АЭП при указанном подходе к реализации обратных связей прилижаются к характеристикам ДПТ с параллельным возбуждением.

#### Литература

1. Родионов В.И. Декомпозиция и метод исследования гироскопических систем, использующих принцип «наведение-стабилизация» // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 10. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. С. 301–310.
2. Кожеуров М.А., Родионов В.И. Информационно-измерительная система стабилизации и наведения с асинхронным трехфазным электродвигателем // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 7: в 2-х ч. Ч1. – Тула: Из-во ТулГУ, 2016. – С. 123–129.

УДК 531.385

### ДИНАМИКА ИНДИКАТОРНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА НА ДАТЧИКАХ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Малютин Д.М.

ФГБОУ ВО «Тулский государственный университет»  
Тула, Российская Федерация

На борту летательного аппарата (ЛА) для стабилизации положения в пространстве полезной нагрузки применяется двухосный индикаторный гиростабилизатор (ГС). Задача повышения точности ГС является актуальной [1–7]. Разработкой подобных систем активно занимаются такие фирмы и организации как «Honeywell», «SYSTRON DONNER», «Goodrich Corporation» (США), DST CONTROL AB (Швеция), Controp

(Израиль), ГОУ ВПО «Казанский государственный технический университет имени А.Н. Туполева», МГТУ имени Баумана, МАИ(Россия).

Целью работы являются исследования динамики ГС на датчиках угловой скорости.

Для достижения поставленной цели предложена структура построения усилительно преобразующего тракта ГС на основе датчиков угловой скорости. Уравнения движения ГС на датчиках

угловой скорости представлены в работе [5]. На рисунке 1 приведены ЛАФЧХ разомкнутого контура стабилизации ГС массой 1 кг по каналу наружной рамки. При этом в контуре стабилизации применено корректирующее звено  $W_{kz1}(p) = (T_{kz1}p + 1) / p$  с параметром  $T_{kz1} = 0,006с$ . На частоте среза обеспечены запасы устойчивости по фазе  $43^0$  и по амплитуде -10 дБ.

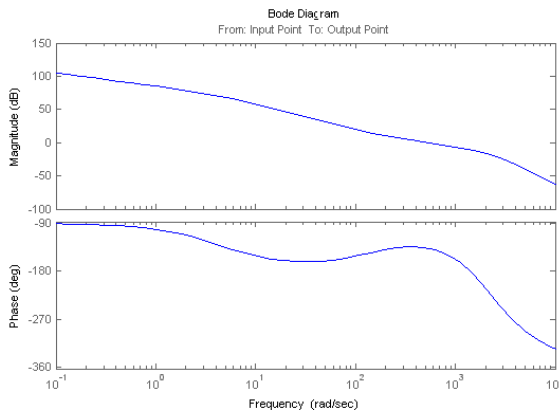


Рисунок 1 – ЛАФЧХ разомкнутого контура стабилизации

График ЛАФЧХ замкнутого контура стабилизации приведен на рисунке 2. Значение ЛАЧХ замкнутого контура стабилизации в полосе пропускания составляет -41 дБ. Реакция на единичное возмущающее ступенчатое воздействие 1Нм приведена на рисунке 3. Время переходного процесса в системе не превышает 0,035 с. С целью повышения точности системы в контуре стабилизации предлагается последовательно с традиционно используемым звеном  $W_{kz1}(p) = (T_{kz1}p + 1) / p$  установить дополнительное корректирующее звено с передаточной функцией вида

$$W_{kz5}(p) = (T_{kz1}p + 1)(T_{kz5}p + 1) / p(T_{kz6}p + 1)$$

с параметрами  $T_{kz5} = 0,001с$ ,  $T_{kz6} = 0,0001с$ . В этом случае ЛАФЧХ разомкнутой системы приобретает вид, представленный на рисунке 4. За счет введения дополнительного корректирующего звена удастся увеличить коэффициент усиления по контуру стабилизации при обеспечении запасов устойчивости по фазе 43 град и -6 дБ по амплитуде. ЛАФЧХ замкнутой системы при установке дополнительного корректирующего звена представлена на рисунке 5. Из приведенных графиков видно, что значение ЛАЧХ замкнутого контура стабилизации, например на частоте 1 рад/с, составляет -93 дБ. График реакции в контуре стабилизации на единичное ступенчатое возмущающее воздействие при установке дополнительного корректирующего звена представлен на рисунке 6. В установленном режиме погрешность стабилизации отсутствует. Из приведенных графиков следует, что погрешность стабилизации

в переходном режиме уменьшена в 4 раза. В канале внутренней рамки также последовательно с традиционно используемым звеном

$$W_{kz2}(p) = (T_{kz2}p + 1) / p$$

устанавливается дополнительное корректирующее звено с передаточной функцией вида

$$W_{kz6}(p) = (T_{kz2}p + 1)(T_{kz7}p + 1) / p(T_{kz8}p + 1),$$

что позволяет уменьшить погрешность стабилизации.

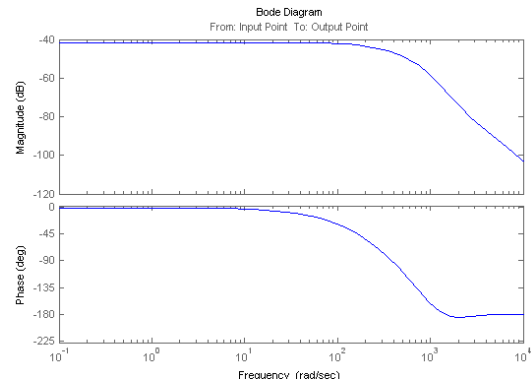


Рисунок 2 – ЛАФЧХ замкнутого контура стабилизации

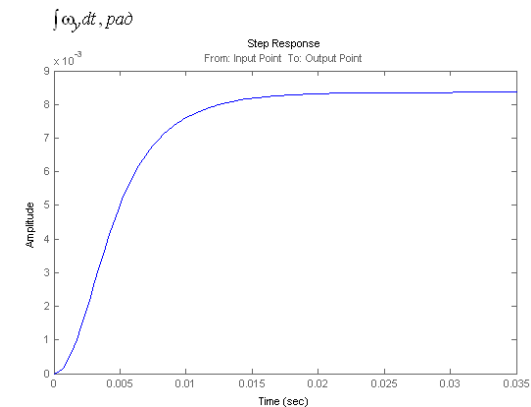


Рисунок 3 – Реакция на единичное ступенчатое возмущение

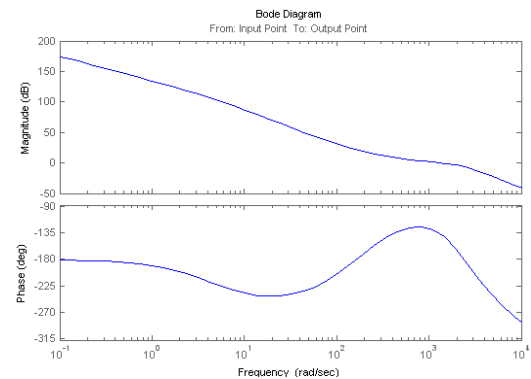


Рисунок 4 – ЛАФЧХ разомкнутого контура стабилизации

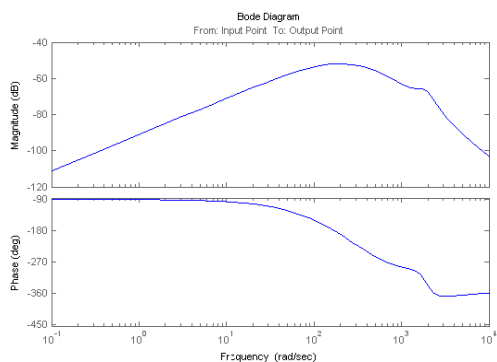


Рисунок 5 – ЛАФЧХ замкнутого контура стабилизации

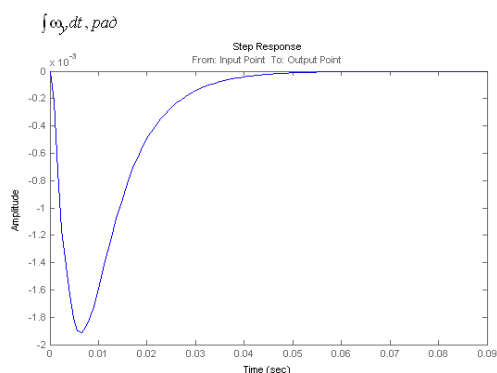


Рисунок 6 – Реакция на единичное ступенчатое возмущение

**Заключение.** Реализация усилительно-преобразующих трактов контуров стабилизации ГС,

УДК 621.382

### БАЗОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ ОДНОЭЛЕМЕНТНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ

Воробей Р.И.<sup>1</sup>, Гусев О.К.<sup>1</sup>, Свистун А.И.<sup>1</sup>, Жуковский П.<sup>2</sup>, Тявловский А.К.<sup>1</sup>, Тявловский К.Л.<sup>1</sup>,  
Шадурская Л.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Люблинский технический университет  
Люблин, Польша

Измерительные преобразователи современных интеллектуальных систем оптической диагностики должны автоматически оценивать параметры оптического сигнала и переключаться между различными диапазонами энергетической и спектральной характеристик чувствительности, осуществлять пространственный контроль измеряемых параметров. Даже при использовании многофункциональных фотоэлектрических преобразователей это требует применения нескольких фотоприемников и сложных алгоритмов обработки измерительных сигналов.

В основе предлагаемых для построения измерительных преобразователей систем оптической

которая предложена в работе, позволяет повысить точность функционирования двухосного индикаторного управляемого ГС на датчиках угловой скорости.

#### Литература

1. Малютин, Д.М. Комбинированная двухосная гироскопикаль / Д.М. Малютин // Авиакосмическое приборостроение. – 2005. – № 3. – С. 6–10.
2. Патент РФ на полезную модель № 120491 МПК G01C 10/00. Двухосный индикаторный гиросtabilизатор / М.Д. Малютина, Д.М. Малютин. – Опубл. 20.09.2012.
3. Пельпор, Д.С. Расчёт и проектирование гироскопических стабилизаторов / Д.С. Пельпор, Ю.А. Колосов, Е.Р. Рахтеенко. – М.: Машиностроение, 1972. – 325 с.
4. Малютин, Д.М. Управляемый гиросtabilизатор повышенной точности на микромеханических чувствительных элементах / Д.М. Малютин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 6. – С. 326–339.
5. Малютин Д.М. Динамические характеристики управляемого гиросtabilизатора на датчиках угловой скорости / Д.М. Малютин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 6(332). – С. 126–141.
6. Гордиенко, В.И. Двухосный гиросtabilизатор поля зрения на микроэлектромеханических гироскопах / В.И. Гордиенко, А.Г. Голуб // Механика гироскопических систем. – 2014. – № 28. – С. 45–49.
7. Распопов, В.Я. Гироскопы в системах гироскопической стабилизации / В.Я. Распопов, Д.М. Малютин, Ю.В. Иванов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2009. – № 7 (148). – С. 52–58.

диагностики фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) лежит физическая интеграция процессов внутри объема чувствительного элемента. При этом, относительная сложность физических процессов при перезарядке нескольких энергетических уровней многозарядной глубокой примеси позволяет реализовать многофункциональность фотоэлектрического преобразователя при простой конструкции чувствительного элемента [1]. Физической основой работы объемно перезаряжаемых светом или электрическим смещением структур является изменение времени жизни и подвижности неравновесных носителей заряда в результате их перераспределения по уровням ре-