

Изолирующее реле замыкают, если должен быть замкнут хоть один из подсоединенных к нему узлов.

Всего коммутатор содержит $5 \times 48 = 240$ узлов, параметры которых необходимо периодически проверять, путем их измерения и $240 + 5 \times 4 = 260$ двоярных герконовых реле, то есть всего $260 \times 2 = 520$ герконов, работоспособность которых необходимо периодически контролировать [2].

Выход каждого из 4х источников-измерителей (ИИ), входящих в состав измерителя ВАХ, соединен с соответствующей линией матрицы коммутации (А, В, С, D). При этом линия Е служит для передачи нулевого напряжения, как показано на структурной схеме комплекса, представленной на рис. 2.

ИИ формируют испытательные сигналы тока (напряжения) на линиях коммутатора в диапазонах $\pm 0,2$ А (± 120 В) и одновременно, с высокой чувствительностью (10 мкВ, 10 фА), измеряют ответные сигналы напряжения (тока), возникающие на соответствующих линиях.

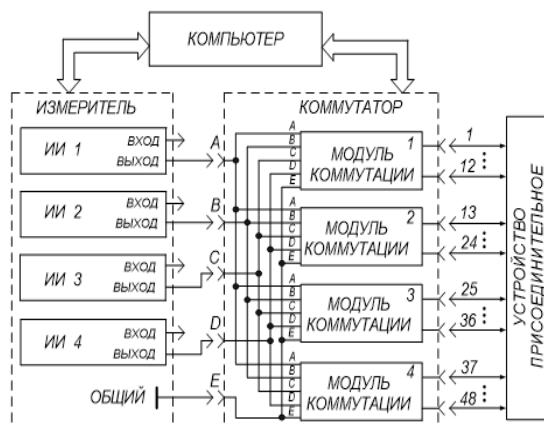


Рисунок 2 – Структурная схема комплекса

Выходы 48-ми портов коммутатора выполнены на клеммниках разъемных 15EDGRC-3.81-03P, рис. 1, б. Применение клеммников позволяет использовать триаксиальные или более доступные коаксиальные кабели в зависимости от условий тестирования и требований к скорости и точности измерений.

Основные параметры коммутатора, определяющие его влияние на погрешность измерений, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ток смещения канала коммутации	$\leq 0,2$ нА
Напряжение смещения через 5 мин. после замыкания реле	$\leq 0,2$ мВ
Сопротивление изоляции	≥ 10 ГОм
Сопротивление канала коммутации	≤ 2 Ом

Команды управления коммутатором соответствуют стандарту SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments). Это позволяет использовать коммутатор самостоятельно (с внешним ПК), однако, для автоматизации измерений, следует разработать соответствующее программное обеспечение.

Образец комплекса изготовлен в единичном экземпляре для автоматизации проверки микроэлектронных изделий на радиационную стойкость в центре коллективного пользования «Радиационный центр».

Литература

- Лисенков Б.Н, Грицев Н.В. Методы и средства контроля параметров полупроводниковых изделий в процессе радиационного воздействия. Материалы 7-й МНК по военно-техническим проблемам обороны и безопасности. Минск. – Часть 1. – С. 174–181.
- Лисенков Б.Н., Грицев Н.В., Брук А.А. Проверка метрологических характеристик матричного коммутатора // Сборник научных статей 1-й МНТК «Опто-, микро- и СВЧ-электроника – 2018», Минск. – С. 82–85.

УДК 629.7.054

ДВУХОСНЫЙ СЛЕДЯЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Лихошерст В.В., Родионов В.И.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Современный летательный аппарат (ЛА) имеет сложную систему бортового электрооборудования (ЭО), в которой особое место занимают электрические приводы (ЭП). К электроприводам ЛА предъявляются гораздо более высокие требования, чем к наземным, т. к. их работа происходит в условиях постоянно изменяющихся управляющих и возмущающих воздействий.

В докладе рассматривается двухосный следящий ЭП, работающий в режиме стабилизированного наведения, т. е. в совмещенном режиме

наведения и стабилизации (компенсации качки ЛА). Такой ЭП (рис. 1) имеет платформу, наружную рамку и электрические двигатели (ЭД) по осям карданова подвеса. Чувствительными элементами ЭП являются оптико-электронные датчики (ОЭД) и гироскопы, установленные на платформе [1].

На рис. 1 приведены следующие обозначения: НП – направление полета ЛА; ЗЛВ – заданная линия визирования, связанная с наблюдаемым объектом; (a,b/x,y) и (3/2) – преобразователи

напряжения из двухфазной вращающейся системы координат асинхронного ЭД в неподвижную трехфазную; $X_0Y_0Z_0, X_1Y_1Z_1, X_2Y_2Z_2$ – системы координат, связанные с ЛА, наружной рамкой и платформой соответственно; $\omega_{Y2}, \omega_{Z2}, \omega_{LY}, \omega_{LZ}, \omega_{0X}, \omega_{0Y}, \omega_{0Z}$ – проекции абсолютных угловых скоростей платформы, ЗЛВ и ЛА; $\varphi_Y, \varphi_Z, \varphi_A, \varphi_B$ – проекции пеленга платформы и ЗЛВ; α, β – проекции углового отклонения платформы относительно ЗЛВ.

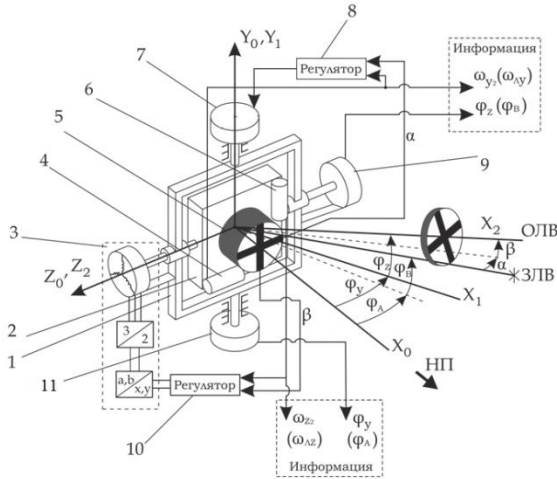


Рисунок 1 – Схема двухосного следящего ЭП:

- 1 – наружная рамка; 2 – платформа; 3 – ЭД переменного тока; 4 – азимутальный гироскоп;
- 5 – ОЭД; 6 – гироскоп угла места; 7 – ЭД постоянного тока; 8, 10 – регулятор; 9, 11 – датчик угла

В последние десятилетия требования к качеству ЭО ЛА привели к усложнению методов управления и исследования ЭП. В работе используется метод декомпозиции, основанный на принципе «наведение-стабилизация», в котором в качестве первого приближения при оценке динамики многоосной следящей системы используются ее кинематические уравнения [1]. Для двухосного ЭП, приведенного на рис. 1, кинематические уравнения имеют следующий вид [1]:

$$\dot{\varphi}_A = \frac{\omega_{LY}}{\cos \varphi_B} + \omega_{0X} \cos \varphi_A \operatorname{tg} \varphi_B - \omega_{0Y} - \omega_{0Z} \sin \varphi_A \operatorname{tg} \varphi_B;$$

$$\dot{\varphi}_B = \omega_{LZ} - \omega_{0X} \sin \varphi_A - \omega_{0Z} \cos \varphi_A.$$

При такой декомпозиции динамическая модель погрешностей двухосного следящего ЭП в первом приближении распадается на две независимые системы уравнений по каждому каналу наведения. Рассмотрим динамику ЭП с трехфазным асинхронным двигателем (АД), имеющим полеориентированное векторное управление. Уравнения движения двухосного следящего ЭП по азимутальному каналу наведения запишем в следующем виде [2]:

$$\begin{aligned} & \frac{J_Y}{\cos \varphi_B} \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{b}{\cos \varphi_B} \frac{d\alpha}{dt} - 1,5z k \Psi_{RX} i_{SY} = \\ & = - \frac{J_Y}{\cos \varphi_B} \frac{d\omega_{LY}}{dt} - b \left(\frac{\omega_{LY}}{\cos \varphi_B} - \omega_{0Y} + \right. \\ & \left. + \omega_{\xi} \sin \varphi_B \right) - (J_{Y1} + J_{X2}) \left[\frac{d\omega_{\xi}}{dt} \sin \varphi_B + (\omega_{LZ} - \right. \\ & \left. - \omega_{0X} \sin \varphi_A - \omega_{0Z} \cos \varphi_A) \omega_{LY} \operatorname{tg} \varphi_B / \cos \varphi_B \right]; \\ & L \frac{di_{SX}}{dt} + Ri_{SX} - \frac{k}{T_R} \Psi_{RX} - \omega_k Li_{SY} = K_P (\Psi_3 - \Psi_{RX}); \\ & L \frac{di_{SY}}{dt} + Ri_{SY} + \omega_k Li_{SX} + kz \frac{d\varphi_A}{dt} \Psi_{RX} = \\ & = W_{\omega} \omega_{Y2} - W_{\alpha} \alpha; \\ & T_R \frac{d\Psi_{RX}}{dt} + \Psi_{RX} = L_m i_{SX}; \\ & k R_R i_{SY} = (\omega_k - z \frac{d\varphi_A}{dt}) \Psi_{RX}, \end{aligned} \quad (1)$$

где J_Y – приведенный момент инерции; J_{Y1}, J_{X2} – моменты инерции наружной рамки и платформы; b – коэффициент вязкого трения; z – число пар полюсов ЭД; k – конструктивный коэффициент ЭД; Ψ_{RX} – проекция потокосцепления ротора; Ψ_3 – заданное потокосцепление ротора; i_{SY}, i_{SX} – проекции тока статора; L, R – индуктивность и активное сопротивление статора; L_m – взаимная индуктивность между статором и ротором; T_R, R_R – постоянная времени и активное сопротивление ротора; W_{ω}, W_{α} – передаточные функции контура гироскопа и ОЭД; ω_k – скорость вращения системы координат ЭД. В уравнениях (1) угловая скорость

$$\omega_{\xi} = \omega_{0X} \frac{\cos \varphi_A}{\cos \varphi_B} - \frac{\sin \varphi_A}{\cos \varphi_B} \omega_{0Z}.$$

Преобразуем уравнения (1) к виду, удобному для исследования. Запишем уравнение для потокосцепления ротора при пропорциональном коэффициенте $K_P > R/L_m - k/T_R$ и без учета перекрестной составляющей тока i_{SY} , в преобразованиях по Лапласу в виде колебательного звена

$$(T_{\Psi}^2 p^2 + 2\xi_{\Psi} T_{\Psi} p + 1) \Psi_{RX} = \Psi_3, \quad (2)$$

$$\text{где } T_{\Psi} = \sqrt{\frac{RT_S T_R}{L_m K_P}}; \xi_{\Psi} = \frac{R(T_S + T_R)}{2\sqrt{T_S T_R L_m K_P}}; T_S = \frac{L}{R}.$$

Предположим, что $\Psi_{RX} = \text{const}$, тогда $T_{\Psi} \rightarrow 0$ и уравнение АД принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} R(T_S p + 1) i_{SY} = & - \left(Lp + \frac{L}{T_R} \right) i_{SY} + W_{\omega} \omega_{Y2} - W_{\alpha} \alpha - \\ & - z \left(k + \frac{L}{L_m} \right) \Psi_{RX} \varphi_A p - \frac{z L \Psi_{RX}}{k R_R} \varphi_A p^2. \end{aligned} \quad (3)$$

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 прилигаются 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