

**УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ МОМЕНТА ТРОГАНИЯ В УПРАВЛЯЮЩИХ  
ДВИГАТЕЛЯХ- МАХОВИКАХ**

Пасько В.А., Завьялова О.Ю.

Научный руководитель: Завьялова О.Ю., доцент, к.т.н.

Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс»

Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в», 634050

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: paskovasiliy@mail.ru

**COMPENSATION DEVICE OF BREAKAWAY TORQUE OF REACTION WHEEL ASSEMBLY**

Pasko V.A., Zavyalova O.Yu

Scientific Supervisor: Associate Prof., Ph.D., Zavyalova O.Yu

JSC «Scientific & Industrial Centre «Polyus»

Russia, Tomsk, Kirova str., 56v, 634050

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: paskovasiliy@mail.ru

*Статья посвящена разработке устройства компенсации момента трогания в управляющих двигателях-маховиках. В статье анализируются проблемы, связанные с возникновением явления момента трогания в двигателях. Автором предлагаются пути решения данной проблемы, а так же рассматриваются преимущества и недостатки каждого из них. В результате было предложено устройство, которое позволяет снизить момент трогания управляющих двигателей-маховиков и исключить зону нечувствительности к малым управляющим сигналам, описана его структура и представлен краткий алгоритм работы такого устройства. Оценка результатов была произведена на испытательном стенде, представляющем собой имитационную модель управляющего двигателя-маховика.*

*The article is devoted to the development of compensation device of breakaway torque of reaction wheel assembly. The article analyses the problems associated with the emergence of phenomenon of breakaway torque in reaction wheel assembly. The author suggests ways of solving this problem, as well as discusses the advantages and disadvantages of each of them. As a result, it was suggested the device which reduces breakaway torque of reaction wheel assembly and exclude the dead zone in range of small signals, described its structure and provides an algorithm for such a device. Evaluation of the results was carried out on a test bench, which represent a simulation model of reaction wheel assembly*

На современных космических аппаратах (КА) получила широкое распространение активная трехосная система ориентации и стабилизации на основе комплекса управляющих двигателей-маховиков (УДМ). Управление ориентацией осуществляется за счет перераспределения кинетического момента между исполнительным органом и корпусом КА. Основными обобщенными характеристиками УДМ являются область требуемого кинетического момента  $H(t)$ , пропорционального угловой скорости, и область требуемого динамического момента  $M_d(t)$ , определяемые динамикой КА [1].

УДМ должен обеспечивать динамический момент, пропорциональный сигналу управления  $N_y$ , который вырабатывается устройствами системы ориентации и стабилизации в процессе отработки заданного положения КА и может изменяться в широких пределах от  $-N_{y\max}$  до  $+N_{y\max}$ , проходя через нулевое значение. Значение динамического момента определяется согласно выражению

$$M_d(t) = k_m N_y(t)$$

где  $k_m$  – коэффициент пропорциональности.

Свободному вращению УДМ препятствует момент сопротивления  $M_c(t)$ , представляющий собой сложную функцию угловой скорости. Электродвигатель УДМ физически создает электромагнитный момент  $M_{эм}(t)$ , поэтому принудительное вращение определяется двумя моментами:

$$M_d(t) = M_{эм}(t) - M_c(t) \quad (1)$$

Момент сопротивления  $M_c(t)$  относится к числу основных характеристик УДМ, нелинейно зависит от частоты вращения и содержит две составляющие:

$$M_c(t) = M_T(t) + k_c\Omega(t),$$

где  $M_T(t)$  – момент трогания;  $k_c$ – коэффициент момента сопротивления.

Особенно сильное влияние на динамику КА оказывает момент трогания УДМ, так как при нулевых и малых угловых скоростях вращения УДМ он является основной составляющей момента сопротивления. Момент трогания обусловлен наличием трения в шарикоподшипниковых опорах, контактными и общими деформациями соприкасающихся тел, макро- и микрогеометрией поверхностей качения, свойствами смазки, окружающей рабочие элементы подшипника, и физическими свойствами материалов контактирующих пар.

Влияние момента трогания наиболее сильно выражено при остановке УДМ. В момент начала вращения маховика момент трогания значительно превышает момент сопротивления на малых скоростях и сильно зависит от длительности остановки. Согласно экспериментальным данным, при смене направления вращения УДМ и переходе через нуль момент трогания становится меньше, но по-прежнему превышает момент сопротивления при малых угловых скоростях.

Можно выделить два подхода к снижению момента трогания УДМ: конструктивными мерами и с помощью формирования закона управления [2].

Конструктивные меры включают в себя дополнительные вибро-шумовые испытания и контроль геометрии подшипников, контроль вязкости закладываемой смазки, снижение давления на опоры подшипникового узла. Однако перечисленные меры не могут полностью исключить момент трогания, что приводит к необходимости использования законов управления, учитывающих поведение маховика возле нуля.

Из выражения (1) видно, что если формировать сигнал управления, используя в качестве обратной связи измеренный динамический момент (прямой способ управления моментом), влияние момента сопротивления, в том числе и момента трогания, полностью компенсируется. Однако такой способ управления моментом трудно технически реализуем.

Более прост косвенный способ, при котором регулирование динамического момента осуществляется регулированием электромагнитного момента в соответствии с выражением  $M_{эм}(t) = k_m N_y$  с учетом измеренного значения момента сопротивления. В данной работе предлагается способ компенсации момента трогания УДМ при косвенном способе управления.

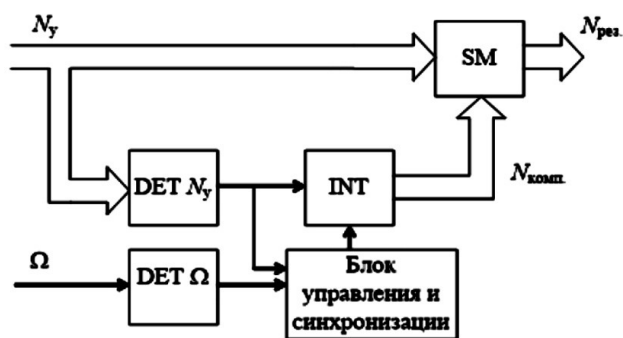


Рис. 1. Функциональная схема устройства компенсации момента трогания

Устройство компенсации момента трогания (рис. 1) состоит из следующих функциональных блоков: DET  $N_y$  – детектор наличия управляющего кодового сигнала ( $N_y$ ); DET  $\Omega$  – детектор, отслеживающий угловую скорость маховика; INT – счетчик-интегратор; SM – блок сумматоров.

Принцип работы устройства (рис. 2) состоит в следующем. В каждый момент времени оно отслеживает угловую скорость УДМ и значение управляющего сигнала. При угловой скорости  $\Omega$ , отличной от нулевой, и наличии кодового сигнала управления  $N_y$  схема пропускает его без изменений. В случае остановки УДМ на входе блока DET  $\Omega$  появляется информация о нулевой угловой скорости, при этом с его выхода выдается разрешающий импульс, который поступает в блок управления и синхронизации. При появлении на входе блока DET  $N_y$  управляющего сигнала на выходе появляется импульс, по которому разрешается работа счетчика-интегратора INT и устанавливается соответствующее время счета.

На выходе счетчика-интегратора INT через равные промежутки времени появляется сигнал компенсации  $N_{\text{комп}}$ , который в блоке сумматора складывается с исходным сигналом управления  $N_y$ , и результат сложения  $N_{\text{рез}}$  поступает регулятор электромагнитного момента УДМ. В случае если результирующего сигнала недостаточно для начала вращения, то через время, определяемое значением исходного сигнала  $N_y$  происходит приращение сигнала  $N_{\text{комп}}$ .

Последовательное приращение результирующего сигнала  $N_{\text{рез}}$  будет происходить до момента появления сигнала угловой скорости  $\Omega$  и начала движения, т.е. до момента, когда результирующий сигнал  $N_{\text{рез}}$  и соответствующий ему динамический момент становятся равны моменту трогания. Затем происходит снижение сигнала  $N_{\text{комп}}$  до нуля и блокировка его прохождения на вход сумматора. Время  $t_1$  между подачей исходного сигнала  $N_y$  и началом вращения обусловлено приращением сигнала компенсации до нужного уровня и временем, необходимым для фиксирования начала движения с помощью сигнала обратной связи по скорости.

Поскольку момент трогания больше, чем момент сопротивления при низких значениях кинетического момента, т.е. при низких угловых скоростях, разработанное устройство позволит преодолеть момент трогания и отключится, а УДМ будет продолжать вращение при текущем значении кодового сигнала управления. В УДМ без компенсации момента трогания в этом случае происходит полная остановка до того момента пока, устройства системы ориентации и стабилизации не выдадут на вход УДМ сигнал управления, больший, чем момент трогания. Таким образом, введение устройства компенсации момента трогания исключает зону нечувствительности к малым сигналам управления, т.е. снижает момент трогания УДМ, при этом оно достаточно просто в реализации.

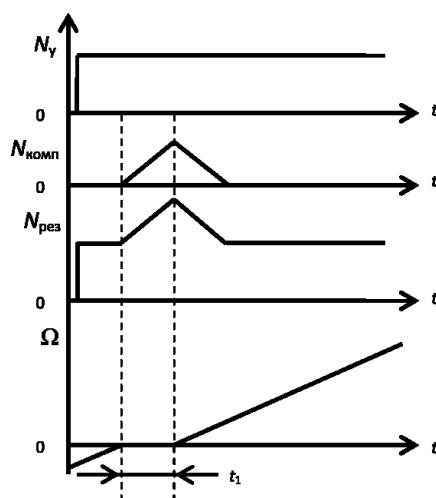


Рис. 2. Входные и выходные сигналы устройства компенсации момента трогания при малом сигнале управления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялова О.Ю. Разработка и исследование высокоточных регуляторов электромеханических исполнительных органов систем ориентации и стабилизации космического аппарата: дис. канд. техн. наук: 05.09.03. Томск, 2013.
2. Завьялова О.Ю., Казанцев Ю.М. Синтез регулятора маховичного электромеханического исполнительного органа // Изв. Том. политехн. ун-та. 2012. Т.320, № 4. С. 162–166.

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КОММУТАТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ РЕДУКЦИЕЙ**

Пенкина Т.Ю., Курбатов Е.М.

Научный руководитель: Малышенко А.М., профессор, д.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва»

Россия, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52, 662972

E-mail: pentan-1987@mail.ru

**DEVELOPMENT OF THE SWITCH BOARD'S MODEL FOR CONTROL OF THE SYNCHRONOUS MOTOR WITH AN ELECTROMAGNETIC REDUCTION**

Penkina T.Y., Kurbatov E.M.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Malishenko A.M.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

JSC Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems

Russia, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Lenin str., 52, 662972

E-mail: pentan-1987@mail.ru

*Рассматриваются компоненты системы наведения антенн, разработанные предприятием АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва» для серии современных космических аппаратов «Луч-5». Рассматривается схема управления синхронным двигателем с электромагнитной редукцией индукторного типа с расщеплёнными обмотками. Решается задача исследования гармонического состава сигнала коммутатора в каждой полуфазе двигателя, при помощи разложения сигнала в ряд Фурье. Исследование проводится в математическом пакете MathCad. Результаты представлены в виде графиков положительных полуволн сигнала с разным набором точек. Предложена аналитическая модель коммутатора для управления синхронным двигателем с электромагнитной редукцией, включающая в себя: источник тока, сопротивление нагрузки, сопротивление шунта и индуктивность обмотки двигателя. Модель позволяет модифицировать сигналы, что необходимо для дальнейших исследований системы наведения антенн спутника.*

*Components of the antennas guidance system are developed JSC Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems for series of modern spacecrafts «Loutch-5» have been considered. The control's scheme of the synchronous motor with an electromagnetic reduction of inductor-type with the split windings have been considered. The research problem of harmonious structure of the switchboard's signal in each semi-phase of the motor by means of the signal's decomposition of the signal in Fourier series have been solved. The research is conducted in a mathematical package MathCad. Results are presented in the view of diagrams of positive signal's half waves with different set of points. The analytical switchboard's model for control of the synchronous motor with an electromagnetic reduction, which including current source, load resistance, resistance of the shunt and inductance of the motor's winding have been introduced. The model allows to modify signals, that is necessary for further researches of the satellite's antennas guidance system.*

В настоящее время для обмена информацией с низколетящих объектов на космический аппарат (КА) устанавливается система наведения антенн (СНА) [1]. Для управления антеннами серии спутников «Луч-5», разрабатываемых АО «ИСС», используется трёхфазный синхронный электродвигатель с электромагнитной редукцией (СДЭР) индукторного типа, схема которого представлена на рис. 1.