

сопротивление, мощность и термоЭДС эквивалентны средним значениям термопар, хромель-алюмель и нихром-константан при одиночном включении.

Также было выяснено из эксперимента, что самое оптимальное сопротивление нагрузки для источников термоЭДС равно 1 кОм. Когда внутреннее сопротивление равно сопротивлению нагрузке, то мощность источника термоЭДС самая большая. Выбор этого сопротивления позволит улучшить точность измерения приборов термоэлектрического контроля.

### Список информационных источников

1. Солдатов А.А. Аппаратно-программный комплекс для контроля пластически деформированных металлов дифференциальным термоэлектрическим методом. дис. канд. техн. наук / А.А. Солдатов. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 155с.

2. Oldham, Kalil T. Swain (2008). The doctrine of description: Gustav Kirchhoff, classical physics, and the "purpose of all science" in 19th-century Germany (Ph. D.). University of California, Berkeley. p.52. Docket 3331743.

3. Croft, Terrell; Summers, Wilford I. (1987). American Electricians' Handbook (Eleventh ed.). New York: McGraw Hill. ISBN 0-07-013932-6.

## УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ МОМЕНТА ТРОГАНИЯ В УПРАВЛЯЮЩИХ ДВИГАТЕЛЯХ-МАХОВИКАХ

*Пасько В.А.*

*АО «НПЦ «Полюс», г. Томск,*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Завьялова О.Ю., к.т.н., начальник лаборатории  
АО «НПЦ «Полюс», доцент кафедры промышленной и медицинской  
электроники*

На современных космических аппаратах (КА) широко применяется активная трехосная система ориентации и стабилизации на основе комплекса управляющих двигателей-маховиков (УДМ). Управление ориентацией осуществляется перераспределением 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 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.

Его влияние 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 виброшумовые испытания и контроль геометрии подшипников, контроль вязкости закладываемой смазки, снижение давления на опоры

подшипникового узла. Однако подобный подход не может полностью исключить момент трогания, что приводит к необходимости применения 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 такое управление моментом трудно технически реализуемо.

Более прост косвенный способ, при котором регулирование динамического момента осуществляется изменением электромагнитного момента в соответствии с выражением  $M_{эм}(t) = k_m N_y$  с учетом измеренного значения момента сопротивления. Предлагается компенсировать момент трогания УДМ косвенным способом управления.

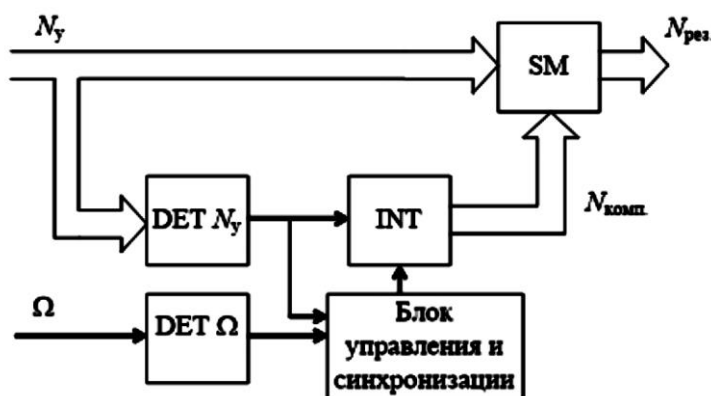


Рис. 1. Функциональная схема устройства компенсации момента трогания

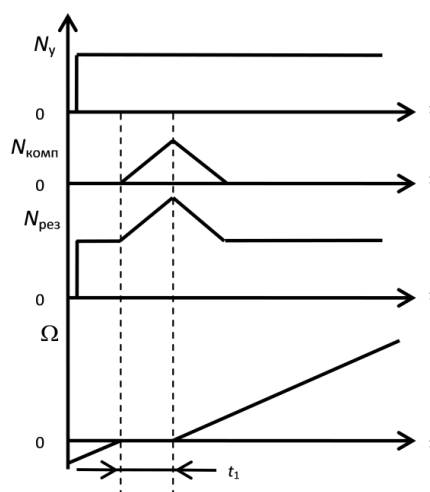
Устройство компенсации момента трогания (рис. 1) состоит из следующих функциональных блоков: DET  $N_y$  – детектор наличия управляющего кодового сигнала ( $N_y$ ); DET  $\Omega$  – детектор, отслеживающий угловую скорость маховика; INT – счетчик-интегратор; SM – блок сумматоров.

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 сумматоров складывается с исходным сигналом управления  $N_y$ , и результат сложения  $N_{\text{рез}}$  поступает в регулятор электромагнитного момента УДМ. 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 блока сумматоров. 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.



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

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.

### **Список информационных источников**

1.Завьялова О.Ю. Разработка и исследование высокоточных регуляторов электромеханических исполнительных органов систем ориентации и стабилизации космического аппарата : дис. ... канд. техн. наук. 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.

## **МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

*Пасько В.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Сорокин П.В., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Достаточно частые обрушения домов, мостовых конструкций, дорог и отдельных элементов, о чем свидетельствуют многочисленные публикации в открытой печати, требуют разработки методов и средств их контроля. Для того чтобы своевременно принять необходимые меры и избежать серьезного ущерба, приходится регулярно вызывать дорогостоящих специалистов для проведения измерений, которые требуют больших затрат времени и средств и не обеспечивают достаточную регулярность обследований. Решением проблемы могла бы стать автоматизированная система мониторинга здания.

Внедрение такой системы позволит своевременно определять реальное состояние строительных конструкций и фундамента, что обеспечит безопасность и надежность строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений.[1]

Для реализации данной задачи хорошо подходят методы неразрушающего контроля.

Использование одного метода может привести к необходимости применения достаточно серьезных аппаратных и технических средств,