

УДК 621.313.17

Электромеханические исполнительные устройства для космических аппаратов

А. Е. Антонов, В. Г. Киреев

Институт электродинамики НАН Украины, Київ

Надійшла до редакції 16.04.98

Викладено концепцію побудови приводних пристроїв для керування просторовим положенням рухомих елементів, що працюють в умовах відкритого космосу.

В бортовой аппаратуре космических аппаратов используются электромеханические системы для управления пространственным положением различных подвижных элементов по одной или нескольким угловым координатам. Специфические условия эксплуатации КА предъявляют к ним повышенные требования по массо-габаритным показателям, экономичности, надежности и ресурсу работы без обслуживания. В настоящее время такие системы строятся, в основном, на базе одноосных коллекторных или асинхронных электромашин. Для реализации двух- и трехкоординатного разворота элементов (для ориентации антенн, оптических устройств, панелей солнечных батарей и др.) система строится по классической схеме с использованием соответственно двух или трех кинематически связанных между собой электродвигателей [1, 2]. Кинематическая схема системы содержит карданов подвес, на осях которого расположены два (рис. 1) или три (рис. 2) двигателя. При такой схеме построения качественное улучшение динамических и других характеристик приводной системы проблематично, так как сама компоновка предопределяет относительно большие габариты и вес привода, сложность, ввиду необходимости подвода электропитания к двигателям на подвижные рамки подвеса, а также повышенные требования к мощности двигателя, располагаемого на корпусе. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что двигатель, располагаемый на корпусе, нагружен не только

управляемым элементом, но и одним (рис. 1) или двумя (рис. 2) двигателями. Радикальное улучшение тактико-технических характеристик приводной системы может быть достигнуто благодаря новому подходу, разработанному в Институте электродинамики НАН Украины, суть которого состоит в использовании одной специальной многостепенной электрической машины (МЭС), функционально заменяющей систему из двух или трех одноосных электродвигателей. Такая машина имеет единственный ротор, обладающий двумя или тремя степенями свободы вращения вокруг неподвижного цен-

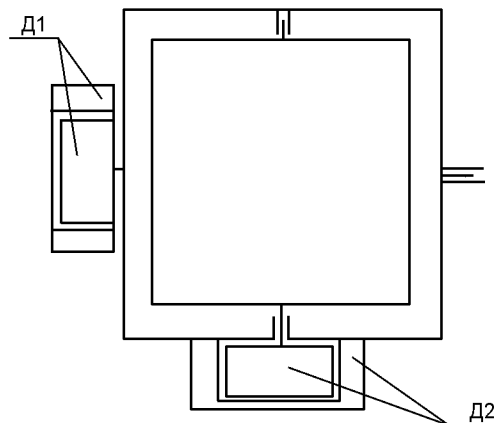


Рис. 1. Классическая кинематическая схема двухкоординатного устройства (обозначения см. в тексте)

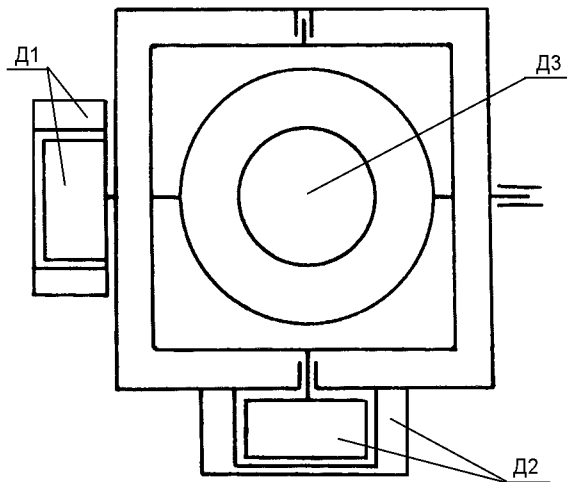


Рис. 2. Классическая кинематическая схема трехкоординатного устройства

тра, которые обеспечиваются соответствующей системой подвеса, например, кардановым подвесом или универсальным шарниром. Управление пространственным положением ротора и связанной с ним полезной нагрузки осуществляется электромагнитным полем, формируемым системой статорных обмоток, число которых соответствует числу степеней свободы ротора. Многостепенной ротор МЭС возбуждается постоянным магнитом, что исключает из конструкции скользящие или гибкие токоподводы к нему и повышает надежность. Кинематика движения ротора МЭС предопределяет сферическую форму элементов ее электромагнитного ядра, благодаря чему достигается рациональное использование объема, отводимого под привод при минимальных осевых моментах инерции ротора. Опыт использования МЭС показал, что они превосходят приводные устройства, построенные по классической многодвигательной схеме, в 3—5 раз по развиваемым усилиям при сопоставимых габаритах и энергопотреблении. При сопоставимых усилиях в такое же число раз снижаются габариты приводного устройства. Выигрыш по быстродействию оказывается еще более значительным и достигает 7—10 раз.

Для иллюстрации изложенных принципов приведем некоторые примеры реализации МЭС. На рис. 3 приведено устройство для двухкоординатного разворота датчика Солнца. Устройство содержит полый шаровой корпус, на внутренней поверхности которого расположены обмотки управления 6, 7 со взаимно ортогональными осями. На наружной поверхности корпуса в подшипниках (на рисунке не

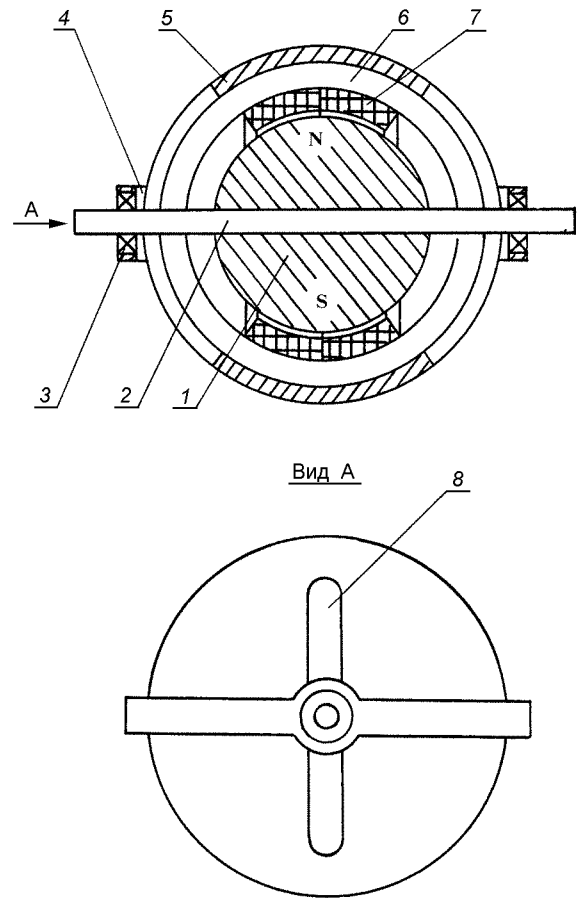


Рис. 3. Двухкоординатное устройство для разворота датчика Солнца

Таблица 1. Технические характеристики двухкоординатного устройства для разворота датчика Солнца

Наружный диаметр, мм	53
Коэффициент крутизны момента, Нм/А	$0.12 \cos \alpha$
Максимальный угол поворота ротора α , град	± 60
Сопrotивление обмотки, Ом	10
Индуктивность обмотки, Гн	$95 \cdot 10^{-6}$
Максимальный ток, А	1.2
Момент инерции ротора, кг·м ²	$6.5 \cdot 10^{-5}$
Масса, кг	0.21

показаны) установлена кольцевая рамка 4. Ротор устройства возбужден постоянным магнитом 1 и соединен с валом 2, который через щелевые отверстия 8 выведен наружу и установлен во второй паре подшипников 3 кольцевой рамки 4. Таким образом кинематически обеспечивается двухкоординатный разворот вала ротора с располагаемой на нем инерционной нагрузкой относительно обмоток управления. Устройство было реализовано при построении

системы поиска Солнца на спутнике связи. Характеристики устройства для каждой из осей поворота приведены в табл. 1.

При величинах углов отклонения управляемого элемента до $\pm 5-10^\circ$, например, при точной ориентации направленных антенн, целесообразно использование компоновки МЭС, приведенной на рис. 4. Здесь платформа 1 установлена в миниатюрном кардановом подвесе 2. На платформе установлены обмотки управления 3 (показана пунктиром) и 4 со взаимно ортогональными осями. Система возбуждения выполнена на постоянных магнитах 5, 6, которые имеют форму секторов concentричных полых шаровых слоев, намагниченных радиально. Ориентация осей намагничивания диаметрально противоположных пар магнитов согласована с направлением токов в активных частях обмоток для обеспечения одинаковой ориентации векторов моментов вращения. Компоновка рис. 4 была реализована при построении наземного устройства пространственной ориентации оптического отражающего элемента следящей системы. Характеристики, соответствующие каждому из двух каналов управления, приведены в табл. 2.

На рис. 5 приведено комбинированное моментное устройство для независимого управления пространственным положением панелей солнечных батарей вокруг трех взаимно ортогональных осей. Общий

принцип построения устройства состоит в том, что его ротор содержит две магнитные системы со взаимно ортогональной ориентацией осей намагничивания, которые управляются двумя различными системами обмоток управления. При этом приняты меры, чтобы одна система обмоток могла взаимодействовать только с соответствующей ей магнитной системой. Ротор устройства выполнен в виде полого шарового магнитопровода 1, на внутренней и внешней сторонах которого установлены постоянные магниты 2 и 3. Ротор установлен в подшипниках 4, 5 внутри второго полого шарового магнитопровода 8. Магнитопровод 8 жестко соединен с третьим магнитопроводом 6, который является внутренним по отношению к магнитопроводу ротора 1. Таким образом, ротор 1 обладает возможно-

Таблица 2. Технические характеристики двухкоординатного устройства ориентации платформы

Наружные габаритные размеры, мм	$\varnothing 375 \times 160$
Коэффициент крутизны момента, Нм/А	$5.45 \cos \alpha$
Максимальный угол поворота ротора α , град	± 6
Сопrotивление обмотки, Ом	3.9
Индуктивность обмотки, Гн	0.0026
Максимальный ток, А	5.5
Максимальный момент, Нм	30
Момент инерции ротора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0.07
Масса, кг	16

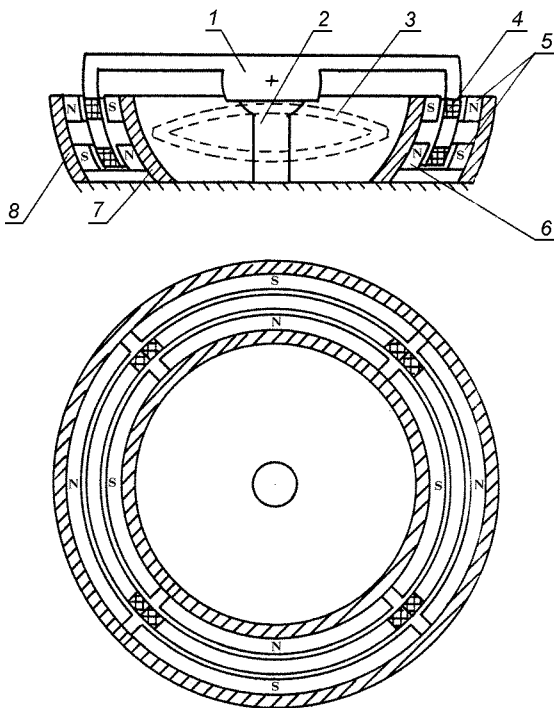


Рис. 4. Двухкоординатное устройство для ориентации платформы

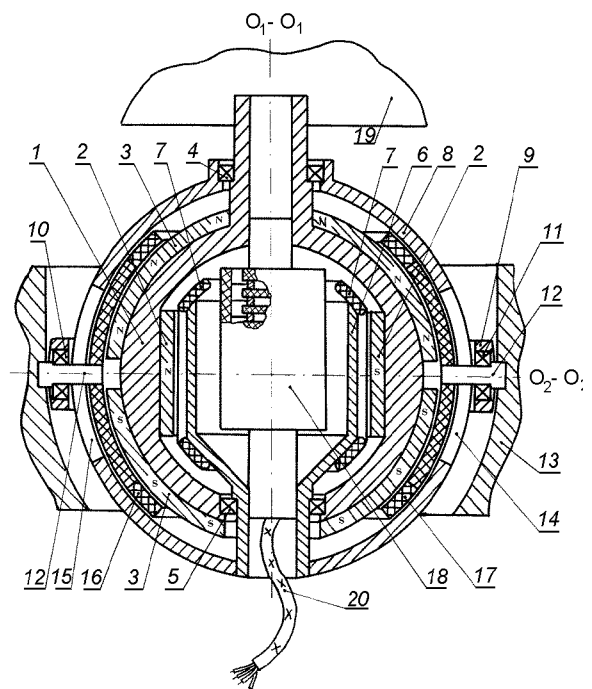


Рис. 5. Трехкоординатное устройство системы ориентации панелей солнечных батарей

Таблица 3. Технические характеристики трехкоординатного устройства ориентации панелей солнечных батарей

Наименование параметра	Продольная ось $O_1—O_1$	Поперечные оси $O_2—O_2$, $O_3—O_3$
Наружный габарит, мм	170	Ø 150
Коэффициент крутизны момента, Нм/А	0.65	1.8
Угловой диапазон, град	$n \cdot 360$	± 25
Максимальный ток, А	1.2	1
Потребляемая мощность (max), ВА	32	40
Сопротивление обмотки, Ом	22	40
Индуктивность обмотки, Гн	0.012	0.02
Момент инерции ротора, кг·м ²	0.0091	0.0183
Масса, кг	6	

стью свободного вращения относительно магнитопроводов 6 и 8 в опорных подшипниках 4, 5. Магнитопроводы 6, 8 совместно с кинематически связанным с ними ротором 1 могут разворачиваться относительно неподвижного основания 13 с помощью карданового кольца 9 и подшипников 10, 11. В магнитопроводе 8 выполнены щелевые диаметрально противоположные отверстия 14, 15. Через них внутрь магнитопровода 8 введены полуоси 12, на которых установлено в подшипниках 10 кардановое кольцо 9 и обмотки 16, 17 со взаимно ортогональными осями. Эти обмотки предназначены для взаимодействия с магнитами 3 и управления положением ротора относительно оси $O_2—O_2$ и нормальной ей оси $O_3—O_3$ (на рисунке не показана). Вторая система обмоток 7, расположенная на магнитопроводе 6, предназначена для взаимодействия с магнитами 2 и управления разворотом ротора вокруг оси $O_1—O_1$ на неограниченный угол. Результирующий вектор намагниченности магнитов 3 совпадает с осью вращения ротора в опорах 4, 5, благодаря чему любое изменение состояния ротора вокруг этой оси не изменяет его взаимного потоко-сцепления с обмотками 16, 17, а значит и состоя-

ния ротора вокруг осей $O_2—O_2$ и $O_3—O_3$. Аналогично, изменение положения ротора вокруг осей $O_2—O_2$ и $O_3—O_3$ не влияет на работу системы управления вращением вокруг оси $O_1—O_1$. Панель батареи 19 соединяется с магнитопроводом 1, а во внутренней полости устройства могут располагаться вспомогательные устройства, например, токосъемник 18. Передача электроэнергии от токосъемника на корпус аппарата осуществляется с помощью гибкого кабеля 20. Такая компоновка была реализована при построении системы пространственной ориентации панелей солнечных батарей спутника связи. Характеристики устройства приведены в табл. 3.

Некоторые принципы построения МЭС, такие как возбуждение ротора постоянным магнитом и беспазовая компоновка статора могут быть также применены в одноосных моментных и быстроходных исполнительных двигателях или в приводах сканирующих обзорно-поисковых систем КА. Благодаря этому повышается надежность электроприводных устройств, упрощается технология и снижается их стоимость. Кроме того, применение высококоэрцитивных магнитных материалов и отсутствие скользящих контактов допускает при необходимости кратковременную форсировку тока управления в три—пять раз.

1. Медушев С. В., Ремизов В. Е., Стома С. А. и др. Точная электромеханика: новые возможности и перспективы // Электротехника.—1991.—№ 9.—С. 16—20.
2. Стома С. А., Авербух В. Я., Лещинский Э. А. Электромеханические системы ориентации солнечных батарей искусственных спутников Земли // Электротехника.—1996.—№ 5.—С. 14—19.

ELECTROMECHANICAL DRIVES FOR SPACECRAFT

A. E. Antonov and V. G. Kireev

We describe a design concept for electromechanical drives for spacecraft control in several coordinate axes.