



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАКТИВНОГО МОМЕНТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МАХОВИКА ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ

В статье представлена математическая модель электромагнитного маховика с искусственным моментом инерции. Устройство, обладающее им, может использоваться вместо массивных маховиков для ориентирования объектов в пространстве, при этом оно может иметь очень низкий вес. Конструктивно устройство (электромагнитный маховик) может быть выполнено в виде электрической машины постоянного тока независимого возбуждения, в якорную цепь которой включен конденсатор. При этом корпус управляемого объекта при взаимодействии с электромагнитным маховиком, обладающим искусственным моментом инерции, не отличается от маховика с «натуральным» моментом инерции.

Инертная, гравитационная масса, момент инерции, космический летательный аппарат.

В классической механике механическая величина *инертная масса* m по существу определяется основной аксиомой динамики – вторым законом Ньютона. При этом «натуральная» масса объекта пропорциональна количеству вещества, заключенного в нем.

Под искусственной массой следует понимать величину, неотличимую от «натуральной» массы, т.е. удовлетворяющую второму закону Ньютона. Инертность искусственной массы обуславливается не количеством вещества, а некими другими физическими обстоятельствами.

Целью настоящей работы является математическое моделирование искусственного момента инерции (на основе искусственной массы).

Предпосылкой решения этой задачи является одна из двух систем аналогий между электромагнитными и механическими величинами [1–3], в соответствии с которыми масса связана дуальным соотношением с емкостью

$$m \Rightarrow C.$$

Однако дуальная связь не является функциональной, поскольку охватываемые ею величины относятся к изолированным друг от друга системам. Поэтому возможность использования конденсатора для создания искусственного момента инерции может быть реализована в смешанной, т.е. электромеханической системе [4–6].

Устройство, обладающее искусственным моментом инерции, может использоваться вместо массивных маховиков для ориентирования объектов в пространстве [7, 8]. Его привлекательной для этих целей особенностью является неэквивалентность искусственной инертной и «натуральной» гравитационной масс [9, 10]. При этом искусственная инертная масса может значительно превосходить «натуральную» гравитационную, другими словами, устройство, обладающее искусственным моментом инерции, может

иметь неадекватно низкий вес – ключевое требование при конструировании КЛА.

Устройство, обладающее искусственным моментом инерции конструктивно может быть выполнено, например, в виде электрической машины постоянного тока независимого возбуждения или вентильной электрической машины (без массивного ферромагнитного магнитопровода), в якорную цепь которой включен конденсатор емкостью C (рис.). Количество витков якорной обмотки – w , длина их активной части – l , индукция магнитного поля – B , диаметр ротора электрической машины – D .

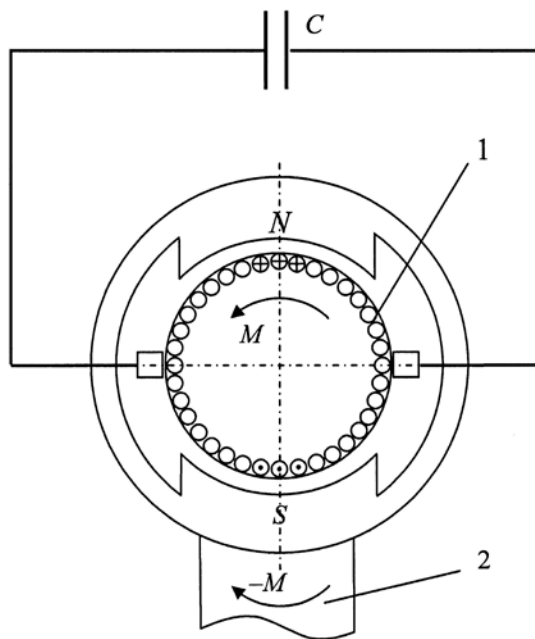


Рис. Устройство, обладающее искусственным моментом инерции:
1 – обмотка, 2 – фрагмент управляемого объекта

Масса, трение, активное сопротивление и индуктивность обмотки не учитываются. При вращении якоря в обмотке возникает ЭДС электромагнитной индукции

$$e_i = -Blw \frac{D}{2} \frac{d\varphi}{dt}.$$

В соответствии со вторым законом Кирхгофа

$$BlwD \frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{C} \int_0^t i dt,$$

здесь правая часть – напряжение на конденсаторе, i – ток. Производная этого выражения

$$BlwD \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{1}{C} i,$$

$$i = BlwDC \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

С учетом последнего соотношения запись вращательного аналога закона Ампера применительно к вентильной машине постоянного тока имеет вид:

$$M = Blw \frac{D}{2} i = (BlwD)^2 C \frac{d^2\varphi}{dt^2} = J_C \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (1)$$

Однако это также запись аналога второго закона Ньютона для вращательного движения, посредством которого можно определить момент инерции. В соответствии с этим

$$J_C = (BlwD)^2 C \quad (2)$$

– искусственный или емкостной момент инерции. В этой связи рассмотренное устройство можно считать электромагнитным маховиком.

В математическом отношении выражение (2) идентично формуле для инертной емкости

$$C_J = \frac{J}{(BlwD)^2}.$$

Формулу (1) можно преобразовать следующим образом:

$$M = J_C \frac{d^2\varphi}{dt^2} = J_C \frac{d\omega}{dt}; \quad (3)$$

$$dL = M dt = J_C d\omega; \quad (4)$$

$$L = J_C \omega, \quad (5)$$

здесь ω – угловая скорость вращения ротора электро-механического преобразователя, L – момент количества движения.

Приводной электродвигатель, установленный на корпусе управляемого объекта, вращает вал электромагнитного маховика и сообщает ему момент количества движения (5). В соответствии с законом сохранения момента количества движения корпусу сообщается реактивный, противоположный по направлению момент количества движения, который меняет ориентацию корпуса. Поскольку момент (3), развиваемый приводным электродвигателем, является отнюдь не виртуальным, то совершенно реальным будет и создаваемый им момент количества движения (4), (5).

По сравнению с гироскопами использование традиционных маховиков для ориентирования объектов в трехмерном пространстве представляет более сложную задачу. В равной мере это относится и к электромагнитным маховикам с искусственным моментом

инерции. Однако, прежде чем появились гироскопы, корпус КЛА ориентировали именно с помощью маховиков – без использования гироскопического эффекта. При этом проблемы, связанные со сложностью управления такими объектами в пространстве, были успешно решены. В этом смысле электромагнитные маховики, по сравнению с традиционными, дополнительные проблем, связанных с управлением, не создают.

Очевидно, что на основе линейной электрической машины может быть реализована искусственная масса

$$m_C = (Blw)^2 C.$$

Искусственный момент инерции (искусственная масса) принципиально отличается от аналогии между массой и емкостью, поскольку электромагнитные аналоги не могут применяться в качестве элементов механических систем.

Корпус управляемого объекта при взаимодействии с электромагнитным маховиком, обладающим искусственным моментом инерции, «не отличает» его от маховика с «натуральным» моментом инерции, при этом идеализированный вариант первого не имеет гравитационной массы.

Литература

1. Попов, И. П. Комбинированные векторы и магнитный заряд / И. П. Попов. – DOI: 10.25791/rfm.06.2018.329 // Прикладная физика и математика. – 2018. – № 6. – С. 12–20.
2. Попов, И. П. Размер электрона с учетом спина / И. П. Попов // Инженерная физика. – 2016. – № 9. – С. 45–46.
3. Попов, И. П. Фиксация скорости радиоволн / И. П. Попов // Двойные технологии. – 2019. – № 1 (86). – С. 68–70.
4. Попов, И. П. Емкостно-инертное устройство / И. П. Попов // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». – 2015. – Т. 2. – С. 43–45.
5. Попов, И. П. Четыре теоремы для синхронных машин с реактивной нагрузкой / И. П. Попов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 28. – С. 169–178.
6. Попов, И. П. Влияние частоты на амплитуды тока и момента синхронных машин / И. П. Попов. – DOI: 10.14529/Power190112 // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 102–106.
7. Попов, И. П. Роторно-линейный движитель / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 1 (3). – С. 23–26.
8. Попов, И. П. Выбор систем отсчета в задачах управления движущимися инертными объектами // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 1 (3). – С. 20–22.
9. Попов, И. П. Математическое моделирование инертной массы / И. П. Попов // Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сборник научных трудов международной научно-практической конференции / под общей редакцией В. С. Мхитаряна. – Магнитогорск: Издательство

Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2018. – С. 95–99.

венного технического университета. – 2016. – № 1 (29). – С. 7–11.

10. Попов, И. П. Искусственные масса и упругость / И. П. Попов // Вестник Тверского государст-

I.P. Popov

USING THE REACTIVE MOMENT OF THE ELECTROMAGNETIC FLYWHEEL TO CHANGE THE POSITION OF OBJECTS IN SPACE

The article presents a mathematical model of an electromagnetic flywheel with an artificial moment of inertia. A device possessing it can be used instead of massive flywheels to orient objects in space, while it can have very low weight. Structurally, the device (electromagnetic flywheel) can be made in the form of an electric machine of direct current of independent excitation, in the anchor circuit of which a capacitor is connected. At the same time, the case of a controlled object when interacting with an electromagnetic flywheel, which has an artificial moment of inertia, does not differ from a flywheel with a “natural” moment of inertia.

Inertial, gravitational mass, moment of inertia, spacecraft.