

KOVALEVA Yuliya Vladimirovna – Graduate Student of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: kowalyowa.yu@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Okuneva V.V., Korneev K.B., Kovaleva Yu.V. Simulation of Digital Automation of Substations for Protection of Inter-substation Lines // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical Engineering and Chemical Technology». 2021. No. 1 (9), pp. 50–58.

УДК 629.7.052

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ МАХОВИК С ИСКУССТВЕННЫМ (ЕМКОСТНЫМ) МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ

И.П. Попов

Курганский государственный университет (г. Курган)

© Попов И.П., 2021

Аннотация. Цель исследования заключается в разработке емкостного маховика с возможностью автоматического регулирования момента инерции. Устройство, имеющее емкостный момент инерции, может очень мало весить и использоваться вместо массивных маховиков. Конструктивно его следует выполнить в виде электрической машины постоянного тока независимого возбуждения или вентильной электрической машины, в якорную цепь которой включен конденсатор. Механическое устройство при взаимодействии с электромагнитным маховиком, обладающим емкостным моментом инерции, «не отличает» его от маховика с «натуральным» моментом инерции, при этом идеализированный вариант первого не имеет гравитационной массы. Емкостный момент инерции функционально зависит от электромагнитных величин – емкости и магнитной индукции, что создает возможность автоматического регулирования момента инерции.

Ключевые слова: масса, момент инерции, электрическая машина, конденсатор.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-58-63

ВВЕДЕНИЕ

В классической механике инертная масса m , являющаяся механической величиной, по существу определяется основной аксиомой динамики – вторым законом Ньютона [1]. При этом «натуральная» масса объекта пропорциональна количеству вещества, заключенного в нем.

Под искусственной массой следует понимать величину, которая не отличается от «натуральной» массы, т.е. величину, удовлетворяющую второму закону Ньютона. Инертность искусственной массы обуславливается не количеством вещества, а некими другими физическими обстоятельствами [2, 3].

Основываясь на вышеприведенных данных, рассмотрим в рамках настоящей статьи возможность разработки емкостного маховика с автоматическим регулированием момента инерции.

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

$$m \Rightarrow C.$$

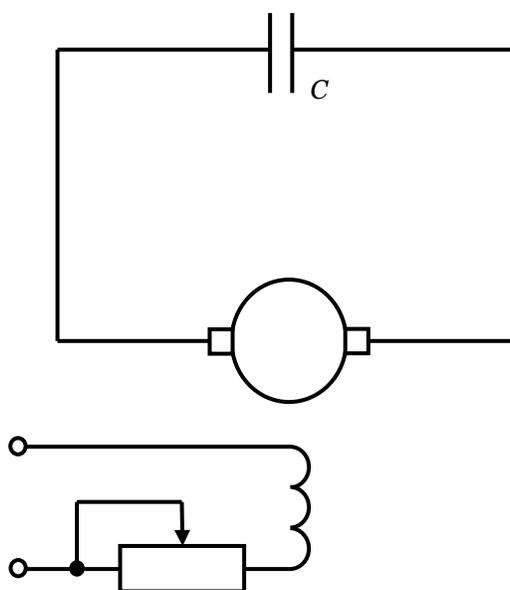
Однако дуальная связь не является функциональной, поскольку охватываемые ею величины относятся к изолированным друг от друга системам. Таким образом, возможность использования конденсатора для создания емкостного момента инерции может быть реализована в смешанной, т.е. электромеханической, системе [4–6]. Подобное устройство, обладающее емкостным моментом инерции, может очень мало весить. Его стоит использовать вместо массивных маховиков.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применялись общенаучные и математические методы, а также электротехнические расчеты.

КОНСТРУКЦИЯ

Устройство можно выполнить в виде электрической машины постоянного тока независимого возбуждения или вентильной электрической машины, в якорную цепь которой включен конденсатор емкостью C (рисунок).



Принципиальная электрическая схема устройства

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Для математических расчетов нам потребуются следующие параметры: количество витков якорной обмотки – w ; длина их активной части – l ; индукция магнитного поля – B ; диаметр ротора электрической машины – D . Масса, трение, активное сопротивление и индуктивность обмотки не учитываются.

При вращении якоря в обмотке возникает ЭДС электромагнитной индукции:

$$e_i = -B2lw \frac{D}{2} \frac{d\varphi}{dt}.$$

В соответствии со вторым законом Кирхгофа

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

Правая часть – напряжение на конденсаторе, i – ток. Производная этого выражения:

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

где

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

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

$$M = B2lw \frac{D}{2} i = (BlwD)^2 C \frac{d^2\varphi}{dt^2} = J_C \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (1)$$

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

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

является емкостным моментом инерции. Поэтому рассмотренное устройство можно считать электромагнитным маховиком.

В математическом отношении выражение (2) идентично формуле для инертной емкости [7, 8]:

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

Формулу (1) можно преобразовать следующим образом:

$$M = J_C \frac{d^2\varphi}{dt^2} = J_C \frac{d\omega}{dt};$$

$$dL = M dt = J_C d\omega;$$

$$L = J_C \omega,$$

где ω – угловая скорость вращения ротора электромеханического преобразователя; L – момент количества движения.

Очевидно, что на основе линейной электрической машины может быть реализована искусственная масса [9, 10]:

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

По формуле (2) установлено, что емкостный момент инерции функционально зависит от электромагнитных величин, и это создает возможность его автоматического регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов И.П. Математическое моделирование формулы второго закона Ньютона. *Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: сборник научных статей II Всероссийской научной конференции с международным участием: 22-24 апреля 2019 г.* 2019. С. 310–317.
2. Попов И.П. Электромеханические или искусственные масса и упругость // *Вестник Псковского государственного университета. Технические науки.* 2016. Вып. 4. С. 89–94.
3. Попов И.П. Переходный процесс при подключении пьезоэлектрического преобразователя с упругой нагрузкой к источнику постоянного напряжения // *Вестник Псковского государственного университета. Технические науки.* 2018. Вып. 7. С. 52–56.
4. Попов И.П. Теоретически установленная независимость амплитуд тока и момента синхронной машины с индуктивной нагрузкой от частоты // *Вестник МЭИ.* 2019. № 5. С. 68–72.
5. Попов И.П. Четыре теоремы для синхронных машин с реактивной нагрузкой // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления.* 2018. № 28. С. 169–178.
6. Попов И.П. Амплитудно-частотные особенности режимов нагрузки синхронной электрической машины // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии».* 2020. № 2 (6). С. 49–56.
7. Попов И.П. Накопитель энергии с искусственной инертной емкостью // *Вестник Калужского университета.* 2019. № 4. С. 71–73.
8. Попов И.П., Попов Д.П., Кубарева С.Ю. Вращательное инертно-емкостное зарядно-разрядное устройство // *Вестник Курганского государственного университета. Технические науки.* Вып. 7. 2012. № 2 (24). С. 85, 86.
9. Попов И.П. Создание искусственной массы // *Вестник Курганского государственного университета. Технические науки.* Вып. 9. 2014. № 2 (33). С. 23, 24.
10. Попов И.П. Искусственные масса и упругость // *Вестник Тверского государственного технического университета.* 2016. № 1 (29). С. 7–11.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ПОПОВ Игорь Павлович – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», 640020, г. Курган, ул. Советская, д. 63/4. E-mail: ip.porow@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Попов И.П. Электромеханический маховик с искусственным (емкостным) моментом инерции // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 1 (9). С. 58–63.

**ELECTROMECHANICAL FLYWHEEL
WITH AN ARTIFICIAL (CAPACITIVE) MOMENT OF INERTIA**

I.P. Popov

Kurgan State University (Kurgan)

Abstract. The purpose of the study is to develop an artificial capacitive flywheel with the ability to automatically control the moment of inertia. The device, which has an artificial moment of inertia, can have a significantly low weight and be used instead of massive flywheels. The device constructively can be made in the form of a direct current electric machine of independent excitation or a valve electric machine, in the armature circuit of which a capacitor is included. A mechanical device interacting with an electromagnetic flywheel, which has an artificial moment of inertia, «does not distinguish» it from a flywheel with a «natural» moment of inertia, while the idealized version of the former does not have gravitational mass. Artificial or capacitive moment of inertia functionally depends on electromagnetic quantities – capacitance and magnetic induction, which creates the possibility of its automatic regulation.

Keywords: mass, moment of inertia, electric machine, capacitor.

REFERENCES

1. Popov I.P. Mathematical Modeling of the Formula for Newton's Second Law. *Informatsionnyye Tekhnologii v Modelirovanii i Upravlenii: Podkhody, Metody, Resheniya: Sbornik Nauchnykh Statey II Vserossiyskoy Nauchnoy Konferentsii s Mezhdunarodnym Uchastiyem: 22-24 aprelya 2019 g.* 2019, pp. 310–317. (In Russian).
2. Popov I.P. Electromechanical or Artificial Mass and Elasticity. *Vestnik Pskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskiye Nauki.* 2016. Iss. 4, pp. 89–94. (In Russian).
3. Popov I.P. Transient Process when a Piezoelectric Transducer with an Elastic Load is Connected to a Constant Voltage Source. *Vestnik Pskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskiye Nauki.* 2018. Iss. 7, pp. 52–56. (In Russian).
4. Popov I.P. The Theoretically Established Independence of the Amplitudes of the Current and the Moment of a Synchronous Machine with an Inductive Load on the Frequency. *Vestnik MEI.* 2019. No. 5, pp. 68–72. (In Russian).
5. Popov I.P. Four Theorems for Synchronous Machines with Reactive Load. *Vestnik Permskogo Natsional'nogo Issledovatel'skogo Politekhnicheskogo Universiteta. Elektrotehnika, Informatsionnyye Tekhnologii, Sistemy Upravleniya.* 2018. No. 28, pp. 169–178. (In Russian).
6. Popov I.P. Amplitude-frequency Features of Load Modes of a Synchronous Electric Machine. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya «Stroitel'stvo. Elektrotehnika i Khimicheskiye Tekhnologii».* 2020. No. 2 (6), pp. 49–56. (In Russian).
7. Popov I.P. Energy Storage Device with an Artificial Inert Capacity. *Vestnik Kaluzhskogo Universiteta.* 2019. No. 4, pp. 71–73. (In Russian).

8. Popov I.P., Popov D.P., Kubareva S.Yu. Rotational Inert-capacitive Charging-discharging Device. *Vestnik Kurganskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskiye Nauki*. Iss. 7. 2012. No. 2 (24), pp. 85, 86. (In Russian).
9. Popov I.P. Creation of Artificial Mass. *Vestnik Kurganskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskiye Nauki*. Iss. 9. 2014. No. 2 (33), pp. 23, 24. (In Russian).
10. Popov I.P. Artificial Mass and Elasticity. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2016. No. 1 (29), pp. 7–11. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

POPOV Igor Pavlovich – Senior Lecturer of the Department Technology of Mechanical Engineering, Machine Tools and Instruments, Kurgan State University, 63/4, Sovetskaja, Kurgan, 640020, Russia. E-mail: ip.popow@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Popov I.P. Electromechanical Flywheel with an Artificial (Capacitive) Moment of Inertia // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical Engineering and Chemical Technology»*. 2021. No. 1 (9), pp. 58–63.

УДК 629.7.052

ЗАМЕЧАНИЕ О ЦЕНТРАХ S -СИММЕТРИИ И C -СИММЕТРИИ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ

Ал.А. Шум¹, А.М. Ветошкин², Ан.А. Шум¹

¹*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

²*Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Мытищи, Московская область)*

© Шум Ал.А., Ветошкин А.М., Шум Ан.А., 2021

Аннотация. Изучены понятия s -симметрии и c -симметрии плоской пластины. Установлен критерий совпадения центра c -симметрии плоской выпуклой пластины с началом координат, который представляет собой аналог полученного ранее критерия для случая s -симметрии. Рассматривается пример применения нового критерия.

Ключевые слова: симметрия, c -симметрия, s -симметрия, центр симметрии, линия полумасс, линия равновесия, функция плотности, масса, центр масс, электрическая машина.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-63-70

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–13] описаны многочисленные технологии и методы механической и физико-технической обработки деталей машин. Чтобы выбрать конкретную технологию изготовления и балансировки, нужно учитывать распределение массы внутри обрабатываемой детали. При этом та или иная симметрия распределения массы может играть важную или даже определяющую роль. Таким образом, интерес представляет