



ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ МАССЫ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ МЕХАНИЗМОВ

Исследуется возможность аналитического синтеза искусственной величины, имеющей размерность массы и удовлетворяющей главному уравнению механики, посредством которого определяется инертность. Синтезированная с применением электрических устройств инертность может использоваться для создания систем автоматизированной балансировки машин, массивные рабочие органы которых совершают возвратно-поступательные движения. Особую значимость эта задача приобретает для грохотов, применяемых для сепарации балласта, используемого при укладке железнодорожного полотна, поскольку массы движущихся частей непрерывно изменяются в широких пределах за счет непостоянства подачи сортируемого материала. Возникающая в таких случаях неуравновешенность машины вызывает значительную вибрацию, компенсировать которую иными средствами затруднительно. При автоматизированной балансировке грохотов в следящем режиме движущийся элемент объекта с синтезированной инертностью должен быть прикреплен к движущейся массивной части грохота, подлежащей регулированию. Посредством следящей системы фиксируется отклонение от оптимальной инертной массы и осуществляется ее коррекция.

Синтезированная инертность, грохот, балласт, неуравновешенность, вибрация, магнитное поле, электрическое поле.

Существует два вида массы, которые эквивалентны друг другу, – гравитационная и инертная [1]. Первая определяется законом всемирного тяготения, вторая – главным уравнением механики:

$$f = m \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (1)$$

где f – сила, Н; m – масса, кг; x – перемещение, м; t – время, с.

Величина как гравитационной, так и инертной массы непосредственно зависит от объема и плотности материала физического тела, обладающего массой [2].

Величина m_c , являющаяся параметром какого-либо устройства и удовлетворяющего выражению (1) вне зависимости от объема и плотности материала, из которого оно изготовлено, может рассматриваться в качестве искусственно созданной массы. Подчинение выражению (1) означает, что устройство обладает искусственной инертностью, природа которой не связана с наличием и плотностью вещества [3].

Постановка задачи. Задачей исследования является аналитический синтез искусственной величины, имеющей размерность массы и удовлетворяющей выражению (1), другими словами, синтез искусственной инертности.

Косвенное указание на возможность такого синтеза дает изоморфизм в математическом смысле, связывающий формулы для механических и электрических процессов, один из вариантов которого предполагает следующее дуальное соответствие:

$$m \Rightarrow C. \quad (2)$$

Вместе с тем изоморфные соотношения нельзя рассматривать как непосредственные физические зависимости в силу того, что связываемые процессы или объекты физически не взаимодействуют. По этой причине рассматривать применение электрической емкости для моделирования синтезированной массы возможно лишь в такой технической системе, в которой одновременно протекают как механические, так и электрические процессы.

Актуальность, научная значимость. Синтезированная с применением электрических устройств инертность может использоваться для создания систем автоматизированной балансировки машин, массивные рабочие органы которых совершают возвратно-поступательные движения [4–6]. Особую значимость эта задача приобретает для грохотов, применяемых для сепарации балласта, используемого при укладке железнодорожного полотна, поскольку массы движущихся частей непрерывно изменяются в широких пределах за счет непостоянства подачи сортируемого материала. Возникающая в таких случаях неуравновешенность машины вызывает значительную вибрацию, компенсировать которую иными средствами затруднительно [7].

Конструктивное исполнение объекта с синтезированной инертностью представлено на рисунке. Число активных проводников – n , размер их участков, взаимодействующих с магнитным полем, – l , величина индукции – B , электрическая емкость – C . Остальные параметры обмотки, как механические, так и электрические, во внимание не принимаются.

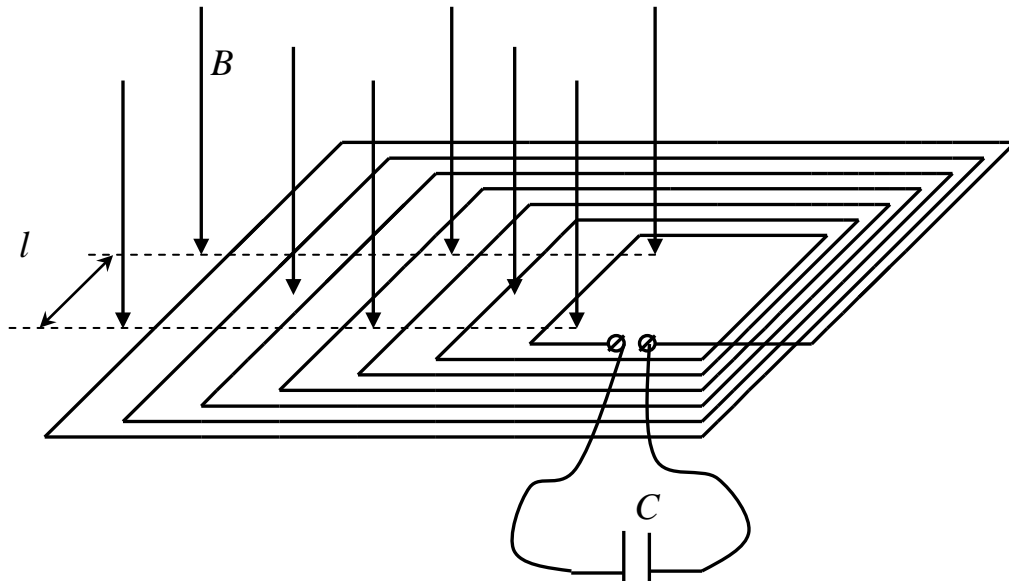


Рис. Устройство, обладающее искусственной массой

Описание процессов. Электродвижущая сила, индуцируемая в обмотке, связана со скоростью движения обмотки относительно силовых линий магнитного поля:

$$e_i = -Bln \frac{dx}{dt}$$

Эта ЭДС равна напряжению на обкладках конденсатора:

$$Bln \frac{dx}{dt} = \frac{1}{C} \int_0^t i dt,$$

где i – электрический ток. Дифференцирование полученной формулы по времени дает

$$Bln \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{C} i,$$

$$i = BlnC \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Подстановка выражения для тока в формулу для силы Ампера приводит к следующему:

$$F = Blni = (Bln)^2 C \frac{d^2x}{dt^2} = m_C \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Полученная формула совпадает с (1) – главным уравнением механики, которое и определяет массу. В этой формуле

$$m_C = (Bln)^2 C, \quad (3)$$

где m_C – синтезированная масса.

Отсюда вытекает формула для синтезированной (квазиэлектрической) емкости, величина которой определяется массой:

$$C_m = \frac{m}{(Bln)^2}.$$

Объект с емкостной инертностью (3), соединенный с упругим элементом, представляет собой коле-

бательную систему, в которой могут возникать свободные гармонические колебания с частотой

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_C}} = \frac{1}{Bln} \sqrt{\frac{k}{C}},$$

где k – коэффициент упругости пружины. Сопоставление этой формулы с известным соотношением

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

позволяет установить выражение для синтезированной индуктивности:

$$L_k = \frac{(Bln)^2}{k}.$$

Механический маятник km_C с не меньшими основаниями может быть представлен в качестве электрической системы CL_k .

Колебания в устройстве km_C (CL_k), осуществляемые без подвода энергии извне, сопровождаются трансформацией энергии электрического поля в потенциальную энергию упругого элемента и наоборот, т.е. происходит обмен энергиями различной физической природы.

Синтезированная инертность не сводится к изоморфизму (2), т.к. он непосредственно не позволяет использовать электрические приборы в составе механических изделий, равно как и грузы или пружины – в составе электрических устройств.

Практическая значимость. При автоматизированной балансировке механизмов, например грохотов в следящем режиме, движущийся элемент объекта с синтезированной инертностью должен быть прикреплен к движущейся массивной части грохота, подлежащей регулированию. Посредством следящей системы фиксируется отклонение от оптимальной инертной массы и осуществляется ее коррекция [8–10]. Выражение (3) показывает, что регулирующее воздействие на инертную массу производится путем усиления

или ослабления магнитного или электрического полей. В результате суммарная инертность остается неизменной, что обеспечивает балансировку грохота при его неравномерной загрузке.

Литература

1. Попов, И. П. Выбор систем отсчета в задачах управления движущимися инертными объектами / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 1 (3). – С. 20–22.
2. Попов, И. П. Сглаживание нагрузки маневрового тепловоза / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 19–21.
3. Попов, И. П. Использование реактивного момента электромагнитного маховика для изменения положения объектов в пространстве / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 75–77.
4. Попов, И. П. Инертная колебательная система из двух грузов для вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 2 (8). – С. 10–12.
5. Попов, И. П. Использование инертного триплетного маятника в вибрационных сортировальных машинах / И. П. Попов // Вестник Вологодского госу-

дарственного университета. – 2020. – № 3 (9). – С. 11–13.

6. Попов, И. П. Построение вибрационных сортировальных машин по схеме мультиинертного осциллятора / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 3 (9). – С. 14–17.

7. Попов, И. П. Самобалансировка вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 2 (2). – С. 16–19.

8. Бакаев, В. Н. Управляемый электропривод механизмов маятникового типа / В. Н. Бакаев // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 5–8.

9. Ишметьев, Е. Н. Автоматизация процесса вычисления объема металлолома для кислородно-конвертерного процесса с использованием 3D-камеры / Е. Н. Ишметьев, Д. В. Чистяков, А. Н. Панов, Е. Э. Бодров // Автоматизированные технологии и производства. – 2017. – № 2 (16). – С. 4–9.

10. Бакаев, В. Н. Оптимизированный электропривод с переменными параметрами / В. Н. Бакаев // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 1 (1). – С. 33–35.

I.P. Popov

Kurgan State University

APPLICATION OF ARTIFICIAL MASS FOR BALANCING MECHANISMS

The possibility of analytical synthesis of an artificial quantity having a dimension of mass and satisfying the main equation of mechanics by means of which inertia is determined is investigated. Synthesized with the use of electrical devices, inertia can be used to create automated balancing systems for machines, which massive working elements perform reciprocating movements. This task is particularly important for screens applied to separate the ballast used for laying the railroad track, since the masses of the moving parts continuously vary over a wide range due to inconsistent feed of the sorted material. The imbalance of the machine arising in such cases causes a considerable vibration, which is difficult to compensate by other means. With automated screen balancing in tracking mode, the moving element of the object with synthesized inertia should be attached to the moving massive part of the screen to be controlled. By means of the tracking system, the deviation from the optimum inert mass is fixed and its correction is carried out.

Synthesized inertia, screen, ballast, imbalance, vibration, magnetic field, electric field.