

dynamics, admixtures are detected after each 5–10 simultaneously for each of the 12 sites in the sieve surface. The experimental data obtained from this technique allow to have the following questions answered. How much time does it take for the grain to be in the working part in order to obtain the completeness assigned for admixture detecting? In which part of the sieve surface can admixture be detected? What is the way the grain heap movement mode in the sieve influences the intensity of the separation process? The paper provides the experimental data on identifying the completeness of admixtures detection and the coefficient of the separation process intensity for the cylinder sieve following the rolling, shuttle-rolling, mixed and new grain portion movement mode, designed by the authors, in different cultivars and with different levels of its being filled with grain [1]. The experiments showed that the most intensive separation process runs when grain heap movement by portions mode in the cylinder sieve where the coefficient of sieve surface utilization constitutes over 0.75, but the cinematic mode of the sieve is within 1.5–2.

УДК 534.014.4; 537.862

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ

И. П. Попов, аспирант

В. И. Чарыков, доктор технических наук, профессор

Д. П. Попов, инженер

Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т. С. Мальцева

E-mail: popov_ip@kurganobl.re

Ключевые слова: емкостная масса, инертная емкость, упругая индуктивность, индуктивная упругость

Реферат. Показано, что пружинные возвратные механизмы линейных электрических двигателей, входящих в состав систем автоматизации и роботизированных комплексов, широко используемых на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения и сельхозпереработки, приводят к возникновению искусственного реактивного сопротивления в электрической цепи управления, что обусловлено способностью пружин как запасать, так и отдавать потенциальную энергию без ее диссипации. Отмечено, что искусственная, или упругая, индуктивность электрических двигателей с упругой нагрузкой при взаимодействии с распределенными или сосредоточенными емкостными элементами цепи управления может приводить к созданию электрических колебательных контуров, в которых могут возникать свободные гармонические колебания, которые могут иметь как отрицательное, так и положительное воздействие на систему в целом. Показано, что в таких смешанных колебательных системах свободные гармонические колебания могут происходить при взаимодействии величин различной физической природы – упругости и электрической емкости. Установлено, что в отличие от традиционных колебательных систем, в которых происходит взаимное превращение энергии, обусловленной движением, – кинетической энергии и энергии магнитного поля в энергию, обусловленную положением, – энергию деформированной пружины и энергию электрического поля, в смешанной упруго-емкостной системе происходит взаимное превращение энергии, обусловленной положением, – потенциальной энергии пружины в энергию, также обусловленную положением – в энергию электрического поля конденсатора. Показано, что сравнение полученной для смешанной упруго-емкостной системы формулы собственной частоты колебаний с формулами для собственных частот механического маятника и электрического колебательного контура позволяет установить существование искусственных механических и электрических величин: емкостной массы, инертной емкости, упругой индуктивности и индуктивной упругости.

В настоящее время на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения и сельхозпереработки широко внедряются системы автоматизации, в том числе роботизированные комплексы. В составе таких систем используются, в частно-

сти, линейные электромеханические преобразователи с пружинными возвратными механизмами.

Пружина обладает способностью как запасать, так и отдавать потенциальную энергию. Если при этом не происходит потерь энергии, то

логично предположить, что указанное свойство пружины должно обуславливать наличие некоего реактивного сопротивления преобразователя, которое также характеризуется обменом энергии без ее диссипации.

Актуальной задачей является выявление влияния упругости пружинного механизма преобразователя на реактивное сопротивление его электрической цепи и вытекающей из этого возможности возникновения свободных гармонических колебаний, которые могут иметь как отрицательное, так и положительное воздействие на систему в целом. Предпосылкой решения этой задачи является одна из двух систем аналогий между электромагнитными и механическими величинами, в соответствии с которыми упругость связана дуальным соотношением с индуктивностью:

$$\frac{1}{k} \Rightarrow L.$$

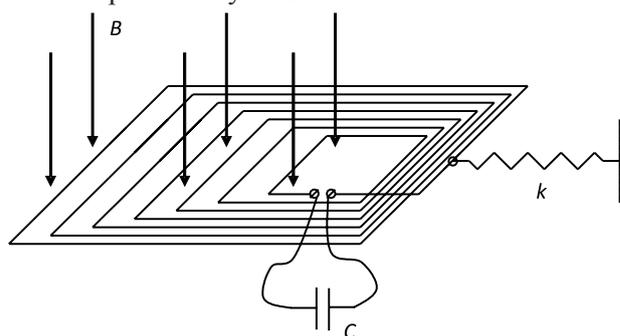
Однако дуальная связь не является функциональной, поскольку охватываемые ею величины относятся к изолированным друг от друга системам. Поэтому указанное соотношение само по себе не дает оснований рассматривать механическую величину коэффициент упругости в качестве параметра электрических цепей.

Известно решение подобной задачи для системы, включающей инертный (массивный) элемент и катушку индуктивности [1]. В инертно-индуктивной mL -колебательной системе могут возникать свободные гармонические колебания, причем, в отличие от традиционных колебательных систем, в которых происходит взаимное превращение энергии, обусловленной *движением*, – кинетической энергии и энергии магнитного поля в энергию, обусловленную *положением*, – энергию деформированной пружины и энергию электрического поля, в mL -системе происходит взаимное превращение энергии, обусловленной *движением*, – энергии магнитного поля катушки в энергию, обусловленную также *движением*, – в кинетическую энергию инертного тела. При этом в выражения для волнового сопротивления колебательной системы и собственной частоты колебаний входят механическая и электрическая величины – инертная масса m и индуктивность L , тем самым реализуются функциональные зависимости между величинами различной физической природы. По существу инертно-индуктивная mL -система представляет собой электрический колебательный контур в составе катушки индуктивности L и инертной емкости C_m .

Целью исследования является представление упругой нагрузки в виде индуктивного сопротивления линейного электромеханического преобразователя и обоснование возможности возникновения свободных гармонических колебаний при подключении к нему конденсатора, играющего роль эквивалентного емкостного сопротивления электрической цепи преобразователя.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований является упруго-емкостная система, схема которой представлена на рисунке. По существу она представляет собой упрощенную модель линейной электрической машины [2–4] с подключенным конденсатором. Коэффициент упругости пружины k , магнитная индукция в зазоре B , между полюсами находятся n проводников с длиной активной части l [5, 6]. Емкость конденсатора C . Активное сопротивление, потери на трение, индуктивность, емкость и масса рамок не учитываются.



Упруго-емкостная (kC) колебательная система

Методами исследований в рамках настоящей работы являются методы математического моделирования и анализа. При этом исследуется не сам физический объект, а его математическая модель – «эквивалент» объекта, отражающий в математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие составляющим его частям, и т.д. Используемые виды моделирования являются детерминированными, динамическими и непрерывными. Основными этапами математического моделирования являются построение модели, решение математической задачи, к которой приводит модель, интерпретация полученных следствий из математической модели, проверка адекватности модели, модификация модели. Используемые методы позволяют получить достоверное описание исследуемых объектов.

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Пусть начальные условия: $u_c(0) = u_0$, $i(0) = 0$, пружина не деформирована. При подключении к рамкам конденсатора появляется ток разряда i . В соответствии с законом Ампера возникает сила $Blni$, которая приводит рамки в движение, в результате которого появляется ЭДС электромагнитной индукции $Bln dx/dt$. Здесь x – перемещение рамок, при котором пружина деформируется, и в соответствии с законом Гука возникает сила упругости kx .

Механическое и электрическое состояния kC колебательной системы описываются двумя уравнениями в соответствии с законами Гука, Ампера и вторым законом Кирхгофа:

$$kx = Blni, \quad (1)$$

$$Bln \frac{dx}{dt} + L \frac{di}{dt} + u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = 0. \quad (2)$$

Здесь L – индуктивность рамок. Последнее слагаемое – напряжение на конденсаторе.

B , l , n , – параметры, обуславливающие электромеханическое взаимодействие. Их целесообразно объединить в параметрический коэффициент

$$y = (Bln)^2. \quad (3)$$

Производная (1) с учетом (3)

$$\frac{dx}{dt} = \frac{y^{0,5}}{k} \frac{di}{dt}.$$

При подстановке в (2)

$$\frac{y}{k} \frac{di}{dt} + L \frac{di}{dt} + u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = 0,$$

$$\left(\frac{y}{k} + L\right) \frac{di}{dt} + u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = 0.$$

При дифференцировании последнего выражения получается классическое дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний [7–9]:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{\left(\frac{y}{k} + L\right)C} i = 0.$$

Его решение:

$$i = I_m \sin \omega_0 t,$$

$$I_m = u_0 \sqrt{\frac{C}{\frac{y}{k} + L}} = \frac{u_0}{X_{kC}}.$$

Волновое сопротивление

$$X_{kC} = \sqrt{\frac{\frac{y}{k} + L}{C}}.$$

Собственная частота автономной консервативной kC -системы

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{y}{k} + L\right)C}} \quad (4)$$

Таким образом, в рассматриваемой kC колебательной системе могут возникать свободные гармонические колебания.

Сопоставление выражения (4) с формулами для собственных частот механического маятника

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

и электрического колебательного контура

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

позволяет установить существование искусственных механических и электрических величин [10–12].

Определение 1. Искусственная (емкостная) масса m_c – это величина, неотличимая системой от инертной массы m , т.е. удовлетворяющая второму закону Ньютона, инертность m_c обусловлена не количеством вещества, а электрической емкостью и параметрами электромеханического преобразователя:

$$m_c = yC.$$

Определение 2. Искусственная (инертная) емкость C_m – это величина, неотличимая системой от электрической емкости C , т.е. удовлетворяющая закону Ома для емкостного участка цепи, емкость C_m обусловлена не параметрами электрического поля, а инертной массой и параметрами электромеханического преобразователя:

$$C_m = \frac{m}{y}.$$

Определение 3. Искусственная (упругая) индуктивность L_k – это величина, неотличимая системой от электрической индуктивности L , т.е. удовлетворяющая закону Ома для индуктивного

участка цепи, индуктивность L_k обусловлена не параметрами магнитного поля, а механической упругостью и параметрами электромеханического преобразователя:

$$L_k = \frac{y}{k}.$$

Определение 4. Искусственная (индуктивная) упругость k_L – это величина, неотличимая системой от механической упругости k , т.е. удовлетворяющая закону Гука, упругость k_L обусловлена не свойствами вещества упругого тела, а электрической индуктивностью и параметрами электромеханического преобразователя:

$$k_L = \frac{y}{L}.$$

В соответствии с этими выражениями (4) можно представить в виде:

$$\omega_{0kC} = \sqrt{\frac{k}{yC}} = \frac{1}{\sqrt{CL_k}} = \sqrt{\frac{k}{m_c}},$$

т.е. либо как электрический колебательный контур с искусственной индуктивностью, либо как механический маятник с искусственной массой.

ВЫВОДЫ

1. Свободные гармонические колебания происходят при взаимодействии величин различной физической природы – упругости и электрической емкости.
2. В традиционных колебательных системах происходит взаимное превращение энергии, обусловленной *движением*, – кинетической энергии и энергии магнитного поля в энергию, обусловленную *положением*, – энергию деформированной пружины и энергию электрического поля. В отличие от них в kC -системе происходит взаимное превращение энергии, обусловленной *положением*, – потенциальной энергии пружины в энергию, также обусловленную *положением* – в энергию электрического поля конденсатора.
3. Полученные в результате работы выражения устанавливают функциональные зависимости между электрическими и механическими величинами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов И. П., Саранулов Ф. Н., Саранулов С. Ф. Инертно-индуктивный осциллятор // Вестн. Курган. гос. ун-та. Техн. науки. – 2013. – Вып. 8. – № 2 (29). – С. 80–81.
2. Попов И. П., Чарыков В. И., Пильников А. И. Об электромеханических характеристиках среднеходовой линейной электрической машины // Вестн. НГАУ. – 2012. – № 4 (25). – С. 94–100.
3. Попов И. П., Чарыков В. И., Пильников А. И. К вопросу определения статических тяговых характеристик стержневой линейной электрической машины // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 7 (70). – С. 131–136.
4. Попов И. П., Чарыков В. И., Пильников А. И. Стержневая линейная электрическая машина // Вестн. Курган. ГСХА. – 2012. – № 1 (1). – С. 55–58.
5. Попов И. П., Саранулов Ф. Н., Саранулов С. Ф. О емкостных и индуктивных свойствах электромеханических преобразователей // Вестн. Курган. гос. ун-та. Техн. науки. – 2011. – Вып. 6. – № 1 (20). – С. 102, 103.
6. Попов И. П., Саранулов Ф. Н., Саранулов С. Ф. Переходный процесс при подключении электромеханического преобразователя с упругой нагрузкой к источнику постоянного напряжения // Вестн. Курган. гос. ун-та. Техн. науки. – 2012. – Вып. 7. – № 2 (24). – С. 80–82.
7. Попов И. П. Зависимость реактивного сопротивления пьезоэлектрического преобразователя от механических параметров его нагрузки // Науч.-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики. – 2013. – № 5 (87). – С. 94–98.
8. Попов И. П. Упруго-индуктивный осциллятор // Рос. науч. журн. – 2013. – № 1 (32). – С. 269–270.
9. Попов И. П. Свободные гармонические колебания в системах с элементами различной физической природы // Вестн. Костром. гос. ун-та им. Н. А. Некрасова. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 22–24.
10. Попов И. П. Реализация частной функциональной зависимости между индуктивностью и массой // Рос. науч. журн. – 2012. – № 6 (31). – С. 300–301.
11. Попов И. П. Функциональная связь между индуктивностью и массой, емкостью и упругостью // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. – 2013. – № 2 (93). – С. 109–114.

12. Попов И. П. Вращательные инертно-емкостные устройства // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Техн. науки. – 2011. – № 3 (31). – С. 191–196.

ELECTROMECHANIC OSCILATIONS IN AUTOMATIC SYSTEMS

I. P. Popov, V. I. Charykov, D. P. Popov

Key words: capacitive weight, inertia capacity, elastic inductance, inductance elasticity

Summary. It is shown that spring return mechanisms of linear electric engines being a part of automation systems and robot-machine complexes widely used at enterprises of agricultural machine building and agricultural processing result in the emergence of artificial reactive resistance in the electric circuit of management, which is determined by the capacity of the springs both to store and return potential energy without its dissipation. It is marked that artificial or elastic inductance of electric engines with an elastic load when interacting with distributed or concentrated capacitive elements in the control circuit can lead to the creation of an electric oscillating circuit, which may result in free harmonic oscillations, which may have both negative and positive impacts on the overall system. It is shown that under the mixed oscillation systems, free harmonic oscillations may occur with different values of physical nature interacted – elasticity and electric capacity. It is found that unlike conventional oscillatory systems where there is mutual conversion of energy caused by the movement, – the kinetic and magnetic field energies into the energy determined by the position, – those of deformed spring and electric field. Regarding the mixed elastic capacitive system there is also mutual conversion of energy caused by the position – the potential energy of the spring into the one determined also by the position – into the energy of the electric field of the capacitor. It is shown that the comparison of the resulting mixed-elastic-capacitive system formula of resonance oscillations frequency with the formulas for their own natural frequencies of the mechanical pendulum and electrical oscillating circuit allows to establish the existing artificial mechanic and electric values: capacitive weight, inertia capacity, elastic inductance and inductive elasticity.