

Н.А. ЛЕЛЮК, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ПОВОРОТНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Для електромагніту автоматичного вимикача поворотного типу розглянуто процес формування математичної моделі механічної системи. Приведена таблиця аналогів між механічною системою прямоходового і поворотного типу. Отримана система матричних рівнянь, що описує процес вібрації контактів автоматичного вимикача.

Для электромагнита автоматического выключателя поворотного типа рассмотрен процесс формирования математической модели механической системы. Приведена таблица аналогов между механической системой прямоходового и поворотного типа. Получена система матричных уравнений, описывающая процесс вибрации контактов автоматического выключателя.

Введение. При нормальной работе электрического аппарата (ЭА) его контакты подвергаются износу, который связан с вибрацией контактов в момент включения [1, 2]. Вибрация контактов крайне нежелательна, так как может вызвать отказ в работе контактов, и, как следствие, выход из строя всего аппарата. Из-за сложностей моделирования этот процесс остается малоисследованным. Для моделирования процесса вибрации контактов автоматического выключателя в работе [3] предлагается использовать метод графов, который дает возможность сформировать уравнения механической системы с сосредоточенными механическими компонентами. При этом электромагнит выключателя рассматривался как прямоходовой и, соответственно в уравнения модели входили компоненты, характерные именно для прямоходовых механических систем. В реальных выключателях используются электромагниты поворотного типа. В этой связи интерес представляет моделирование механической системы поворотного типа с параметрами, характерными именно для таких механических систем.

Цель работы – сформировать уравнения модели механической системы автоматического выключателя поворотного типа на основе теории

графов.

В качестве базовой рассматривается механическая система автоматического выключателя серии А-3700 (рис. 1). Контактная система выключателя имеет малый угол поворота (до 30°). Поворот подвижного контакта в момент замыкания можно заменить движением по прямой, так как, во-первых, угол поворота якоря электромагнита и связанного с ним подвижного контакта небольшой, во-вторых, вибрация (дребезг) контактов происходит при малых амплитудах отскока. С учетом этих допущений механическую систему поворотного типа можно моделировать механической системой прямоходового типа.

Основные элементы выключателя, участвующие в процессе вибрации показаны на рис. 2. Для этих элементов формируются уравнения состояния по методике, предложенной в [3] на основе составления вибрационной схемы замещения и ее графа.

Для составления вибрационной схемы замещения элементы контактного узла представляются в виде идеальных пассивных двухпортов: массы m , механического сопротивления b и упругости k . На рис. 2 контактодержатель 1 и неподвижный контакт 2 объединены в одну массу – m_1 , подвижный контакт 3 – m_2 , контактная пружина 4 – k_2 , контактодержатель подвижного контакта 5 – m_3 , возвратная пружина 6 – k_3 и гибкая связь 7 – b_3 .

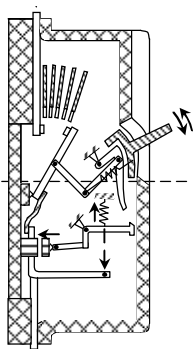


Рис. 1. Контактная система автоматического выключателя серии А-3700.

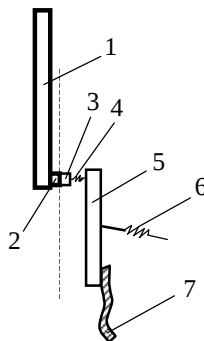


Рис. 2. Контактный узел выключателя.

На рис. 3 приведена вибрационная схема замещения контактного узла автоматического выключателя, а на рис. 4 показан ее модифици-

рованный граф. Направление обхода во всех ячейках принято одинаковым, по часовой стрелке.

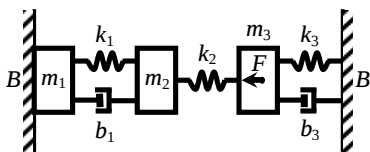


Рис. 3. Вибрационная схема замещения.

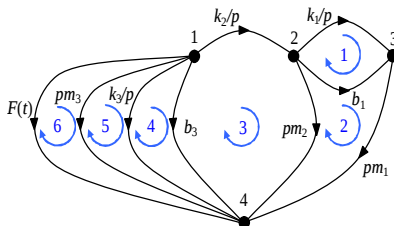


Рис. 4. Модифицированный граф.

Топологическая матрица связей T и компонентная матрица C представляются в виде:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & -1 & & & & \\ & 1 & 1 & -1 & & \\ & & & 1 & 1 & -1 \\ & & & & 1 & -1 \\ & & & & & 1 & -1 \\ & & & & & & 1 \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} \frac{k_1}{p} & & & & & \\ & b_1 & & & & \\ & & pm_1 & & & \\ & & & pm_2 & & \\ & & & & \frac{k_2}{p} & \\ & & & & & b_3 \\ & & & & & & \frac{k_3}{p} \\ & & & & & & & pm_3 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Математическая модель механической системы с учетом (1) и имеет вид, аналогичный приведенному в [4]:

$$(TCT^T)V = A \cdot V = F, \quad (2)$$

где T – матрица связей; T^T – транспонированная матрица связи; C – компонентная матрица; V – вектор-столбец скоростей v_i ($i = \overline{1,6}$) движения элементов; A – матрица коэффициентов; F – вектор-столбец контурных сил системы f_i .

$$\begin{pmatrix}
 \frac{k_1}{p} + b_1 & -b_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -b_1 & b_1 + pm_1 + pm_2 & -pm_2 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -pm_2 & pm_2 + \frac{k_2}{p} + b_3 & -b_3 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -b_3 & b_3 + \frac{k_3}{p} - \frac{k_3}{p} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -\frac{k_3}{p} & \frac{k_3}{p} + pm_3 & -pm_3 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -pm_3 & pm_3
 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ f(t) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Аналогия между механической поступательной и механической поворотной системой. Для построения механической системы поворотного типа, эквивалентной вибрационной схеме механической поступательной системы (рис. 3), необходимо провести эквивалентную замену ее элементов. Основные правила замены механических величин поступательной системы на механические величины поворотной системы приведены в табл. 1 [5, 6].

Таблица 1 – Аналоги механических величин

Механическая поступательная система	Механическая поворотная система
сила f , Н	вращающий момент μ , Н·м
скорость v , м/с	угловая скорость ω , 1/с
механическое инверсное сопротивление $1/b$, Н/м	инверсное сопротивление $1/b$, Н/м
масса m , кг	момент инерции J , кг·м ²
упругость k , Н/м	вращательная упругость k , Н/м

На рис. 5 показана механическая система поворотного типа, эквивалентная вибрационной цепи механической поступательной системы. Модифицированный граф механической системы поворотного типа приведен на рис. 6. Он отличается от графа вибрационной цепи меха-

нической поступательной системы только обозначениями ветвей. В случае равенства величин компонент этих ветвей, очевидно, система уравнений и решение будут одинаковыми.

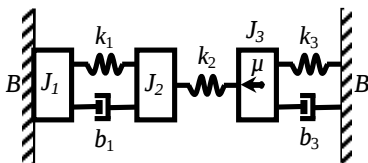


Рис. 5. Эквивалентная вибрационная схема замещения.

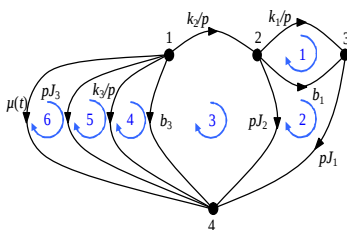


Рис. 6. Модифицированный граф механической системы поворотного типа.

Математическая модель механической системы поворотного типа представляется системой уравнений в операторной форме, формируемых аналогично вибрационной цепи механической системы прямоходового типа.

$$\begin{pmatrix} \frac{k_1}{p} + b_1 & -b_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -b_1 & b_1 + pJ_1 + pJ_2 & -pJ_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -pJ_2 & pJ_2 + \frac{k_2}{p} + b_3 & -b_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -b_3 & b_3 + \frac{k_3}{p} & -\frac{k_3}{p} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{k_3}{p} & \frac{k_3}{p} + pJ_3 & -pJ_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -pJ_3 & pJ_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ \omega_5 \\ \omega_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mu(t) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Поскольку в матрицах (3) и (4) элементы равны, получаемые решения полностью совпадают, независимо от метода решения.

Выводы. На примере механической системы поворотного типа показано как формируются уравнения модели. При формировании уравнений использовалась таблица аналогов механических величин для поступательной и поворотной систем.

Полученная система матричных уравнений может быть решена известными методами. Методика составления модели может быть рекомендована для моделирования механических систем поворотного типа.

Список литературы: 1. *Шевченко С.М.* Движение и удары в электрических аппаратах автоматического управления. – М.: Энергия, 1979. – 144 с. 2. *Сахаров П.В.* Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). – М.: Энергия, 1971. – 560 с. 3. *Лелюк Н.А., Луников В.С.* Исследование вибрации механических систем на основе аналогии с электрическими схемами замещения // *Електротехніка і електромеханіка.* – 2008. – №2. – С. 35-38. 4. *Лелюк Н.А.* Исследование процесса вибрации механической системы методами ячеек и фундаментальных контуров // *Вестник НТУ "ХПИ".* – Харьков НТУ "ХПИ". – 2008. – Вып. 25. – С. 54-66. 5. *Сигорский В.П.* Математический аппарат инженера. – К.: Техніка, 1975. – 768 с. 6. *Кениг Герман Е., Блекуэлл Вильям А.* Теория электромеханических систем. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 424 с.



Лелюк Николай Анатольевич, аспирант кафедры "Электрические аппараты". Защитил диплом магистра в Харьковском политехническом институте по специальности электрические машины и аппараты в 2006 г. Научные интересы связаны с проблемой повышения надежности и снижения вибрации контактов электрических аппаратов.

Поступила в редколлегию 17.04.2009