

МОДЕЛЬ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ОБЩИМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

*А.А. Крупник, студент; А.В. Павлов, канд. физ-мат. наук
Сумский государственный университет*

В статье представлен новый подход к построению математической модели силовой части многодвигательного электропривода постоянного тока с одним источником питания. Модель представлена структурной схемой в векторной форме. Конфигурация структурных элементов и взаимосвязей отличается новизной и позволяет проводить модельные исследования взаимного влияния сепаратных электроприводов через общий источник энергии ограниченной мощности.

ВВЕДЕНИЕ

Решение задач моделирования электроприводов требует понимания не только физико-математической сущности электропривода как электромеханической системы, но и достаточного опыта в области численных методов математического моделирования и компьютерных технологий. Термин «математическое моделирование» охватывает понятия методологически слабосвязанных процедур разработки модели и ее практического применения. Сущность второй из них заключается в изучении свойств объекта моделирования путем анализа аналогичных свойств его модели. В зависимости от характера и сложности явлений при их изучении на модели могут быть использованы различные ее построения. В сочетании с современными вычислительными средствами эти методы позволяют с относительно небольшими материальными затратами исследовать динамические и статические свойства объекта в разных вариантах технического исполнения. При этом в рамках используемой модели всегда гарантируется отыскание оптимальных решений. На этапе проектирования важнейшее значение приобретает использование математических моделей в качестве инструмента для анализа, оптимизации и прогнозирования поведения моделируемых объектов.

Особенностью работы широко распространенных в промышленности многодвигательных электроприводов (МЭП) постоянного тока с одним источником питания является то, что нагружение электродвигателей (сепаратных электроприводов) может происходить неодновременно и характер изменения нагрузки (статического момента) может быть различным. Это приводит к тому, что законы изменения скоростей вращения валов этих электродвигателей во времени не одинаковы и отличаются от заданных вследствие взаимного влияния электродвигателей через источник питания, напряжение которого зависит определенным образом от токов якорей всех электродвигателей.

Повысить точность реализации заданных законов движения электродвигателей можно путем соответствующим образом организованного автоматического управления магнитными потоками электродвигателей, что является неоправданным усложнением для МЭП. Частичное и часто достаточное повышение качества процессов управления может быть достигнуто соответствующим выбором параметров силовых цепей электропривода с целью ослабления взаимного влияния электродвигателей через общий источник питания. Оценить влияние параметров силовых цепей сепаратных электроприводов МЭП на степень их взаимного влияния через источник питания позволяют

коэффициенты обратных связей обобщенной математической модели силовой части МЭП с общим источником питания в векторной форме.

Известные модели МЭП постоянного тока [1 – 3] не позволяют решать задачу оценки влияния электромеханических параметров сепаратных электроприводов (СЭП) на степень их взаимосвязи через общий источник питания, поскольку предназначены лишь для исследования статических и динамических процессов.

Целью работы, материалы и результаты которой представлены в настоящей статье, является построение обобщенной математической модели МЭП постоянного тока, пригодной для оценки влияния электромеханических параметров СЭП на степень их взаимосвязи через общий источник питания, и реализуемой в современных программных средах MATLAB и MAPLE.

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Для построения математической модели МЭП постоянного тока воспользуемся его электрической схемой замещения (рис.1).

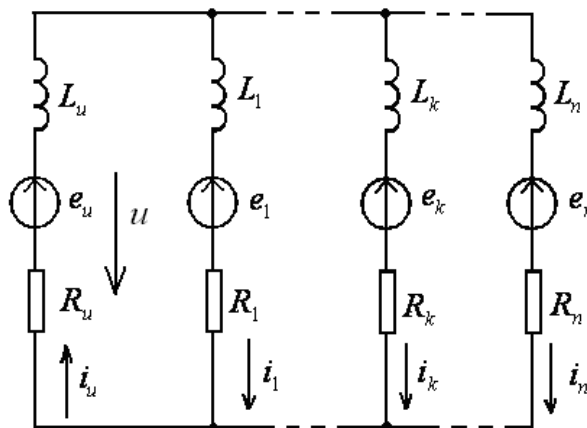


Рисунок 1 – Электрическая схема замещения МЭП постоянного тока:

R_u – внутреннее сопротивление источника;

$R_k, k = \overline{1, n}$ – сопротивление цепи якоря k -го двигателя;

e_u – э.д.с. источника; $e_k, k = \overline{1, n}$ – э.д.с. якоря k -го двигателя;

L_u – индуктивность источника; $L_k, k = \overline{1, n}$ – индуктивность цепи якоря k -го

двигателя; i_u – ток источника; $i_k, k = \overline{1, n}$ – ток в цепи якоря k -го двигателя;

u – узловое напряжение

1 Представление данных

Матрицы переменных величин

$$U = \begin{pmatrix} u \\ u \\ u \\ \vdots \\ u \end{pmatrix}, E_u = \begin{pmatrix} e_u \\ e_u \\ e_u \\ \vdots \\ e_u \end{pmatrix}, I_u = \begin{pmatrix} I_u \\ I_u \\ I_u \\ \vdots \\ I_u \end{pmatrix}, \frac{\partial I_u}{\partial t} = \dot{I}_u = \frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} I_u \\ I_u \\ I_u \\ \vdots \\ I_u \end{pmatrix}, E_\partial = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix}, I = \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ \vdots \\ i_n \end{pmatrix},$$

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \dot{I} = \frac{\partial}{\partial t} \begin{vmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ \vdots \\ i_n \end{vmatrix}, \quad \Omega = \begin{vmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \vdots \\ \omega_n \end{vmatrix}, \quad \frac{\partial \Omega}{\partial t} = \dot{\Omega} = \frac{\partial}{\partial t} \begin{vmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \vdots \\ \omega_n \end{vmatrix}, \quad M = \begin{vmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \vdots \\ M_n \end{vmatrix}.$$

Матрицы постоянных величин:

$$A_u = \begin{vmatrix} R_u & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R_u & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & R_u & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_u \end{vmatrix}, \quad A_{uij} = \begin{cases} R_u, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}, \quad G = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix};$$

$$B_u = \begin{vmatrix} L_u & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L_u & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & L_u & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L_u \end{vmatrix}, \quad B_{uij} = \begin{cases} L_u, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}; \quad M_c = \begin{vmatrix} M_{c1} \\ M_{c2} \\ M_{c3} \\ \vdots \\ M_{cn} \end{vmatrix};$$

$$A_\partial = \begin{vmatrix} R_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_n \end{vmatrix}, \quad A_{\partial ij} = \begin{cases} R_i, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases};$$

$$B_\partial = \begin{vmatrix} L_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & L_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L_n \end{vmatrix}, \quad B_{\partial ij} = \begin{cases} L_i, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases};$$

$$C_\partial = \begin{vmatrix} c_1 \Phi_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_2 \Phi_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \Phi_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n \Phi_n \end{vmatrix}, \quad C_{\partial ij} = \begin{cases} c_i \Phi_i, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases};$$

$$J = \begin{vmatrix} J_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & J_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & J_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_n \end{vmatrix}, \quad J_{ij} = \begin{cases} J_i, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases},$$

где c_k – конструктивный коэффициент k -го электродвигателя; Φ_k – основной магнитный поток k -го двигателя, ω_k – угловая скорость

вращения якоря k -го двигателя; M_k – момент на валу якоря k -го двигателя; M_{ck} – статический момент на валу якоря k -го двигателя; J_k – момент инерции на валу якоря k -го двигателя; $k = \overline{1, n}$ – условный номер электродвигателя (сепаратного электропривода).

($\dot{}$) – символ дифференцирования по времени.

2 Математическая модель МЭП

Математическая модель МЭП (рис.1) в векторной форме представляется уравнениями электромагнитных и электромеханических процессов:

$$U = E_u - A_u I - B_u \dot{I} \quad (1)$$

$$E_\partial = U - A_\partial I - B_\partial \dot{I}, \quad (2)$$

$$E_\partial = C_\partial \Omega, \quad (3)$$

$$M = C_\partial I, \quad (4)$$

$$M = M_c + J \dot{\Omega}, \quad (5)$$

$$I_u = G I. \quad (6)$$

Для построения модели необходимо формирование матрицы \dot{I} производных токов двигателей. Ее можно получить, сложив (1) и (2):

$$\dot{I} = T \times (E_u - E_\partial - A_u I_u - A_\partial I - B_u \dot{I}_u), \quad (7)$$

$$\text{где } T = \begin{pmatrix} \frac{1}{L_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L_3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{L_n} \end{pmatrix}, \quad T_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{L_i}, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}.$$

Способ формирования матрицы $\dot{\Omega}$ производных скоростей вращения двигателей следует из (5):

$$\dot{\Omega} = F \times (M - M_c), \quad (8)$$

$$\text{где } F = \begin{pmatrix} \frac{1}{J_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{J_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{J_3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{J_n} \end{pmatrix}, \quad J_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{J_i}, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}.$$

3 Структурная схема МЭП

Структурная схема МЭП представлена на рис.2. Она отличается от известных наглядностью процесса формирования общего управляющего воздействия – напряжения U как вектора с одним и тем же значением всех его компонент. Это позволяет произвести декомпозицию структурной схемы МЭП на функциональные структурные блоки – модели СЭП с входным сигналом U и источника с выходным сигналом U - и с помощью этой модели исследовать взаимосвязи СЭП через общий источник энергии.

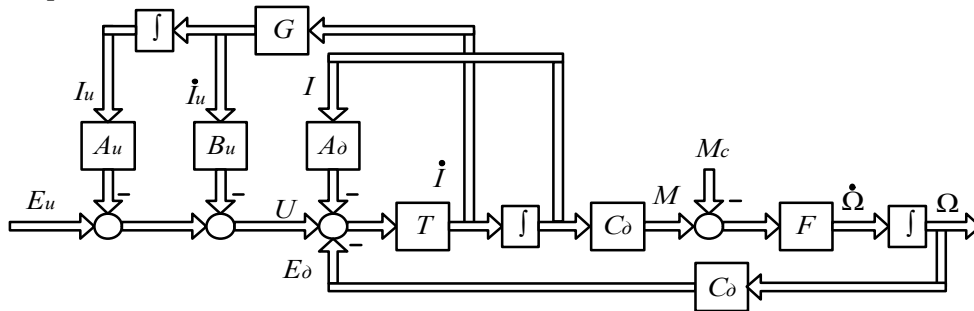


Рисунок 2 - Структурная схема МЭП постоянного тока с общим источником питания

Структурная схема рис.2 универсальна в смысле применимости и для однодвигательного электропривода. Для доказательства этого свойства уравнения (1) – (6) переписем для электропривода с одним двигателем (например, с условным номером 1) и составим структурную схему (рис.3), приняв во внимание, что в таком случае $I = I_u = i_1$, $U = u$, $A_u = R_u$, $B_u = L_u$, $E_\delta = e_1$, $A_\delta = R_1$, $B_\delta = L_1$, $C_\delta = c_1\Phi_1$, $\Omega = \omega_1$, $M = M_1$, $M_c = M_{c1}$, $J = J_1$, $G = 1$, $T = \frac{1}{L_1}$, $F = \frac{1}{J_1}$.

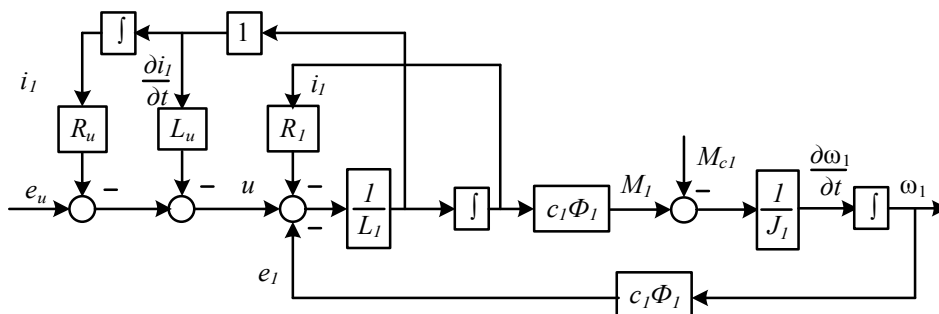


Рисунок 3 - Структурная схема однодвигательного электропривода постоянного тока

Систему уравнений (1)-(8) переписем для однодвигательного электропривода:

$$U = e_u - R_u i_1 - L_u \frac{\partial i_1}{\partial t}, \quad (9)$$

$$e_1 = U - R_1 i_1 + L_1 \frac{\partial i_1}{\partial t}, \quad (10)$$

$$e_1 = c_1 \Phi_1 \omega_1, \quad (11)$$

$$M_1 = c_1 \Phi_1 i_1, \quad (12)$$

$$M_1 = M_{c1} + J_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial t}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial i_1}{\partial t} = \frac{1}{L_1 + L_u} (e_u - e_1 - i_1 (R_u + R_1)), \quad (14)$$

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} = \frac{1}{J_1} (M_1 - M_{c1}). \quad (15)$$

Система (9)-(15) представляется структурной схемой рис.4, которую можно было получить путем структурных преобразований схемы рис.3.

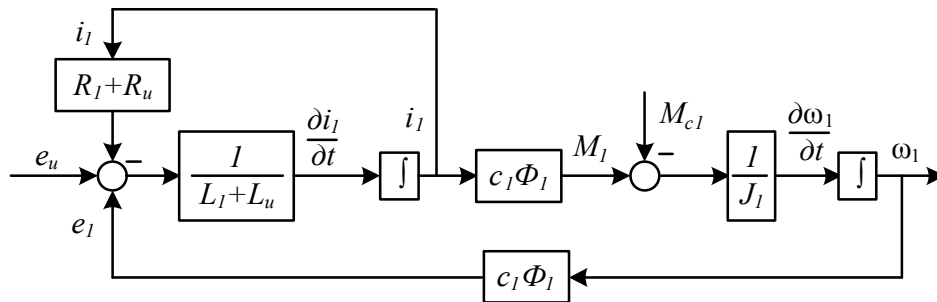


Рисунок 4 - Структурная схема однодвигательного электропривода постоянного тока

Схема рис.4 легко приводится к известной структурной схеме однодвигательного электропривода по схеме "управляемый преобразователь – двигатель постоянного тока" [1,с.228], что подтверждает достоверность векторной модели в виде структурной схемы рис.2.

ВЫВОДЫ

В данной статье разработана математическая модель МЭП в векторной форме. Данное представление модели имеет несколько полезных особенностей: при изменении числа двигателей изменяется только размерность матриц; имеется возможность исследования явления, когда двигатель одного СЭП отключен при его выходе из строя во время работы; наглядность в представлении полученных результатов; имеется возможность моделирования процессов, протекающих в МЭП при разных параметрах СЭП с целью оценки влияния технических параметров последних на их законы движения при неодновременном нагружении.

SUMMARY

In the article new approach is presented to the construction of mathematical model of power part of multimotive elektroprivoda of direct current with one source of feed. A model is presented a flow diagram in a vectorial form. Configuration of structural elements and intercommunications differs a novelty and allows to conduct model researches of the mutual influencing of separate elektroprivodov through a general energy of the limited power source.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494 с.
2. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів. - Львів: Львівська політехніка, 2004.- 404 с.
3. Марущак Я.Ю. Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним коригуванням. - Львів: Львівська політехніка, 2005.- 208 с.

Поступила в редакцию 9 октября 2006 г.