

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РАСКРОЙНОЙ МАШИНЫ\*

А.А. МАКАРОВ, А.В. ЧЕРВЯКОВ

(Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина)

Раскройная машина Р-12 [1] предназначена для чистового вырезания деталей швейных изделий из уложенных в настил тканей и трикотажа всех видов волокон. Для наглядного представления работы машины приведем упрощенную кинематическую схему (рис.1).

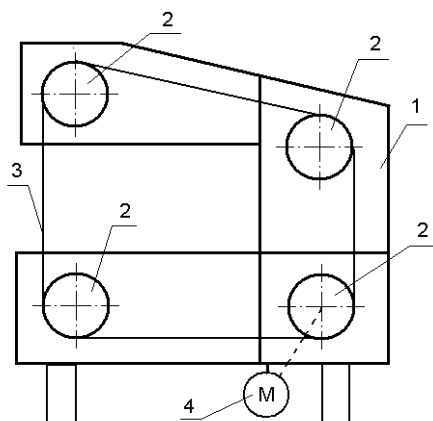


Рис. 1

Машина состоит из каркаса 1, на котором смонтирован механизм привода 4, четырех валов 2, ленточного ножа 3. Поступательное движение ленточного ножа обеспечивает процесс резания настила.

Неоднородность химического состава ткани, ее плотности, величины настила, угла заточки режущей кромки ленточного ножа – факторы, влияющие на качество кроя.

Неправильный выбор скоростного режима при крое приводит к нежелательным последствиям, таким как чрезмерный оплав кромки раскраиваемого материала (в состав ткани входит значительная часть синтетики), чрезмерное "мохрение" кромок, избыточный нагрев ножа (плотные ткани при большой высоте настила). Все это и многое другое приводит к выходу из строя режущего элемента, связанного с чрезмерным нагревом.

На основе сказанного можно заключить, что качество кроя настила на раскройной ленточной машине напрямую за-

\* Начало.

висит от скорости вращения главного вала электропривода, то есть от скорости движения ленточного ножа. Следовательно, необходима плавная регулировка скорости вращения главного вала электропривода для достижения оптимальной скорости резания. Достичь этого можно с помощью применения системы управления электроприводом универсальной раскройной машины, для чего на начальном этапе необходимо построение математической модели электромеханической системы (ЭМС).

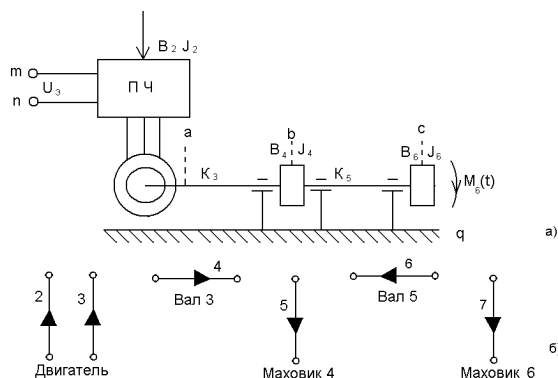


Рис. 2

ЭМС универсальной раскройной машины состоит из короткозамкнутого трехфазного асинхронного двигателя, двух валов и двух маховиков (рис. 2-а).

Известны все параметры системы – номинальное скольжение на естественной характеристике  $s_{не}$ , синхронная скорость при номинальной частоте  $\omega_{0e}$ ; номинальный момент  $M_H$ ; сопротивление якорной цепи двигателя  $R$ ; коэффициент пропорциональности между моментом двигателя и током якорной цепи  $c$ ; коэффициенты упругости валов  $k_3, k_5$  (моментами инерции валов можно пренебречь); моменты инерции маховиков  $J_4, J_6$ ; коэффициенты демпфирования  $B_4$  и  $B_6$ ; напряжение, приложенное к обмоткам статора двигателя  $U_3$ , и момент нагрузки  $M_6$ , приложенный ко второму маховику.

В качестве выходного параметра модели необходимо рассмотреть угол поворота (скорость) маховика 6. В связи с тем, что искомые переменные являются параллельными, то логично воспользоваться

для вывода уравнений системы методом ветвей [2].

Первым этапом является разбиение системы на компоненты (рис. 2-б), поскольку электромеханическая система раскройной машины состоит из набора двухполюсников – валов и маховиков и неприводимого четырехполюсника – двигателя, питающегося от управляемого источника переменной частоты.

Если источник обеспечивает изменение напряжения, пропорциональное частоте, то характеристики двигателя имеют линейный вид. Полагая, что частота и, следовательно, синхронная скорость двигателя пропорциональны току управления преобразователя частоты, и полагая характеристики линейными, полюсное уравнение двигателя будет иметь вид (1):

Двигатель:

$$\begin{bmatrix} U_3 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{21} & y_{22} \\ y_{31} & y_{32} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_3 \\ \phi_2 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

$$\text{Здесь } y_{21} = \frac{1}{K_{дв}} \frac{d}{dt}; \quad y_{22} = 0; \quad y_{31} = \frac{c}{R};$$

$$y_{33} = \left( \frac{1}{K_{дв}} + B_{дв} \right) \frac{d}{dt} + J_{дв} \frac{d^2}{dt^2},$$

где  $K_{дв} = \frac{s_{не} \omega_{0e}}{M_H}$ ;  $s_{не}$  – номинальное

скольжение на естественной характеристике;  $R$  – сопротивление якорной цепи двигателя;  $c$  – коэффициент пропорциональности между моментом двигателя и током якоря;  $\omega_{0e}$  – синхронная скорость при номинальной частоте;  $M_H$  – номинальный момент;  $i_3$  и  $U_3$  – полюсные переменные – ток и напряжение на обмотках двигателя;  $M_2$  и  $\phi_2$  – полюсные переменные – момент нагрузки и угол поворота вала двигателя;  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности между моментом двигателя и током якоря;  $B_{дв}$  – коэффициент трения в двигателе;  $J_{дв}$  – момент инерции двигателя.

Упругие валы:

$$M_i = k_i \varphi_i, \quad (2)$$

где  $M_i$  – моменты, скручивающие валы;  $k_i$  – коэффициенты упругости валов;  $\varphi_i$  – углы скручивания валов.

Маховик:

$$M_j = B_j \frac{d\varphi_j}{dt} + J_j \frac{d^2\varphi_j}{dt^2}, \quad (3)$$

где  $J_j$  – моменты инерции (измеряется относительно "земли");  $\varphi_i$  – угол поворота маховика относительно неподвижной точки;  $B_j$  – сопротивление трения.

Величины  $J_i$ ,  $\varphi_i$  отсчитываются (измеряются) относительно концов валов, а  $J_j$ ,  $\varphi_j$  – относительно "земли".

Вторым этапом является получение графа электромеханической системы. Искомый граф с выделенным деревом и отсечениями (рис. 3) системы получается путем объединения вершин полюсных графов компонент и добавления к полюс-

ному графу элементов 1 и 8, соответствующих приложенным к системе внешним воздействиям  $U_3$  и  $M_6$ .

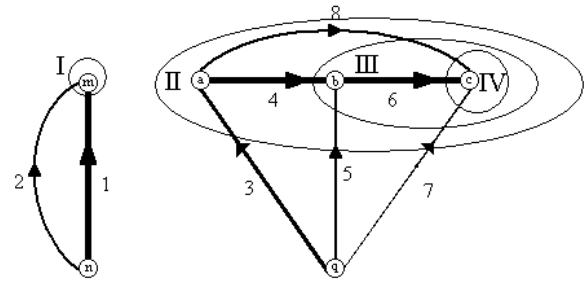


Рис. 3

Третьим этапом является выбор дерева графа системы, то есть дерева, являющегося основой для записи уравнений контуров и отсечений (элементы 2, 4, 5 и 6 графа системы).

Четвертым этапом является запись по графу (рис. 3) системы уравнений отсечений  $A_0$ :

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{I} \\ \text{II} \\ \text{III} \\ \text{IV} \end{matrix} = A_0 = \begin{bmatrix} 1 & \Pi_{ey} & \Pi_{ej} \\ 0 & \Pi_{yy} & \Pi_{yj} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $\Pi_{ey} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ ,  $\Pi_{yy} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $\Pi_{ej} = 0$ ,  $\Pi_{yj} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ .

Пятый этап представляет собой формиро

вание компонентных уравнений.

$$Y = \Pi_{yy} Y_{\Delta} \Pi_{yy}^T, \quad (5)$$

$$Y' = \Pi_{yy} Y_{\Delta} \Pi_{ey}^T, \quad (6)$$

$$Y = -\Pi_{yj} M_c - Y' e_{дв}, \quad (7)$$

где  $Y_{\Delta} = \begin{bmatrix} Y_{21} & Y_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Y_{31} & Y_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & M_6 \end{bmatrix}$ ,  $\Pi_{yy}^T$  – транспонированная  $\Pi_{yy}$ ,

где  $k_3, k_5$  – коэффициенты упругости вала 3 и 5 соответственно;  $M_4, M_6$  – момент нагрузки маховика 4 и 6 соответственно.

$$\begin{bmatrix} y_{32} + M_4 + M_6 & M_4 + M_6 & M_6 \\ M_4 + M_6 & k_3 + M_4 + M_6 & M_6 \\ M_6 & M_6 & k_5 + M_6 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \varphi_2 \\ \varphi_4 \\ \varphi_6 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} M_c - \begin{bmatrix} y_{31} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e_{дв}. \quad (8)$$

Подставим значения коэффициентов из уравнений (1), (2), (3) в (8) и, выполнив преобразования, получим систему уравнений,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{дв} + J_4 + J_6 & J_4 + J_6 & J_6 \\ 0 & 0 & 0 & J_4 + J_6 & J_4 + J_6 & J_6 \\ 0 & 0 & 0 & J_6 & J_6 & J_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_2 \\ \dot{\varphi}_4 \\ \dot{\varphi}_6 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \ddot{\varphi}_4 \\ \ddot{\varphi}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{c}{R} & 0 & 0 & -(B_3 + B_4 + B_6) & -(B_4 + B_6) & -B_6 \\ 0 & -k_3 & 0 & -(B_4 + B_6) & -(B_4 + B_6) & -B_6 \\ 0 & 0 & -k_5 & -B_6 & -B_6 & -B_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_2 \\ \varphi_4 \\ \varphi_6 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \dot{\varphi}_4 \\ \dot{\varphi}_6 \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} M_c - \begin{bmatrix} \frac{c}{R} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e_{дв}. \quad (9)$$

Система уравнений (9) может быть записана в следующем виде:

$$W_1 \dot{x} = W_2 x + W_3 e_{дв} + W_4 M_c. \quad (10)$$

Здесь  $x = \begin{bmatrix} \varphi_2 \\ \varphi_4 \\ \varphi_6 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \dot{\varphi}_4 \\ \dot{\varphi}_6 \end{bmatrix}$ , где  $\varphi_2$  – угол поворота

вала двигателя;  $\varphi_4, \varphi_6$  – угол поворота маховиков 4 и 6 соответственно;  $\dot{\varphi}_2$  – угловая скорость вала двигателя;  $\dot{\varphi}_4, \dot{\varphi}_6$  – угловая скорость маховиков 4 и 6.

Уравнения (5) и (6) являются компонентами уравнения (7). В результате получим

представляющих собой модель ЭМС. Данная система может быть представлена в виде (9):

Для получения уравнения вида (11) помножим правую и левую части уравнения (10) на  $W_1^{-1}$ , в результате получим:

$$\begin{cases} \dot{x} = A_c x + B_c u + f_c M_c, \\ y = c_c x \end{cases} \quad (11)$$

где  $A_c = W_1^{-1} W_2$  – матрица размерностью  $(6 \times 6)$ ;  $B_c = W_1^{-1} W_3$  – вектор размерностью  $(6 \times 1)$ ;  $f_c = W_1^{-1} W_4$  – вектор размерностью  $(6 \times 1)$ ;  $c_c = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$ .

Уравнение (11) представляет собой математическую модель ЭМС в непрерывной форме.

## ВЫВОДЫ

1. Рассмотрено построение математической модели ЭМС универсальной раскройной машины в непрерывной форме и показан возможный переход к построению модели ЭМС универсальной раскройной машины в дискретной форме.

2. Возможно использование полученной модели при построении системы управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Паспорт на раскройную ленточную машину Р-12. – 1998.

2. Ильинский Н.Ф., Цаценкин В.К. Приложение к теории графов к задачам электромеханики. – М.: Энергия, 1968.

Рекомендована кафедрой автоматики и промышленной электроники. Поступила 29.11.05.

---