

МОДЕЛІ БАГАТОПОЛЮСНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРО-МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРИВОДІВ РУЛОННИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

Розглядається математичний опис електромеханічних систем компонентів систем приводів рулонних друкарських машин у виді багатополюсних моделей.

Mathematical description of the electromechanics systems of components of the systems of occasions of roll printing-presses is examined in the type of multipolus models.

1. ВСТУП

Великий діапазон технічних параметрів і багатоопераційність виготовлення друкованої продукції зумовлюють необхідність застосування на поліграфічних підприємствах різноманітних технологічних процесів і поліграфічних машин. При проектуванні необхідно забезпечувати всі техніко-експлуатаційні характеристики машин, бо вони взаємозв'язані. Цей взаємозв'язок установлюється комплексним вивченням технологічного процесу режимів виконання технологічних операцій, а також урахування виробничих умов [1].

Математичний опис електромеханічних систем є важливим початковим етапом аналізу, синтезу та проектування машин та систем автоматичного управління. Проблема вибору та розробки форм математичного опису електромеханічних систем і методів моделювання має принципове значення, тому що прийнята модель в основному визначає шляхи і можливості аналізу та синтезу системи, прийнятий математичний апарат, можливості машинних методів розрахунку, алгоритмічне та системне забезпечення.

Для лінійних електромеханічних систем широко використовуються різні методи математичного опису [2]:

Моделі у вигляді диференційних або диференційно-різницевих рівнянь, систем алгебраїчних рівнянь в зображеннях змінних.

Передаточні функції для фізичних змінних системи.

Деталізовані структурні схеми або напрямлені сигнальні графи - графічний поелементний опис у фізичних змінних вхід-вихід елементів.

¹ Українська академія друкарства

Математичний опис систем в змінних стану здійснюється за допомогою рівнянь, розв'язаних відносно перших похідних змінних стану.

2. ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ СИСТЕМ ПРИВОДІВ РУЛОННИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

Сучасний привід рулонної друкарської машини є складною електромеханічною системою з пружними зв'язками, дослідження і проектування яких без використання ПК практично неможливі. Ефективність використання ПК в значній мірі залежить від прийнятого математичного забезпечення [2, 3].

Класичні методи опису електромеханічних систем у вигляді системи диференціальних рівнянь та структурних схем у вигляді двополюсних компонентів та зв'язків між ними є складними, незручними для їх представлення. Досить часто для електромеханічної системи по аналогії моделювання електричних кіл використовують теорію графів і представляють у вигляді орієнтованого графа, за яких здійснюється програмування. Такий підхід є загальним, але не відповідає природному і зрозумілому для техніки компонентному базису, що ускладнює їхнє програмування і сприйняття. Ряд існуючих програмних пакетів тією чи іншою мірою не враховують при моделюванні специфіку поліграфічних машин.

Ці та інші відомі моделі електромеханічної системи мають певні обмеження і не враховують специфіку електроприводів рулонних друкарських машин.

Характерна особливість систем приводів рулонних друкарських машин полягає в тому що окремі секції зв'язані між собою та електродвигуном через валопроводи. Відповідно до вимог технологічного процесу, друкарські секції розміщують на значній відстані одна від другої, тому довжина валопроводів сягає декількох метрів. Тому між секціями проявляється вплив пружних властивостей валопроводів, які суттєво впливають на динаміку машини, зношування робочих механізмів, знижують продуктивність машини і якість продукції.

Число змінних в окремих компонентах сягає шести [4]. Тому використання методів чотириполюсників для електромеханічних систем рулонних друкарських машин є нерациональним.

При побудові моделей прийняті основні допущення, сформовані на основі обробки даних експериментів на рулонних друкарських машинах та інших електромеханічних системах [5]:

- валопроводи є пружними безінерційними елементами;
- ротор електродвигуна і робочі механізми абсолютно твєді тіла;

- шпари в передачах і з'єднаннях приводів не враховуються;
- паперова стрічка є пружний матеріал.

Розглядаються багатофарбові рулонні друкарські машини секційної побудови. Секцією будемо вважати частину машини (групу вузлів), яка виконує повний цикл технологічних операцій (друкування, різання і фальцування листів, розмотування і намотування стрічки в рулон та інші), зв'язані поміж собою пружними зв'язками. Стрічка проводиться через послідовно розміщені стрічконоправляючі валики, ведучі циліндри робочих механізмів секції, що створюють стрічкопровідну систему машини. Направляючі валики мають невеликі діаметри, тому їх моменти інерції відносно малі порівняно з моментами інерції ведучих циліндрів секції, тому, як показали дослідження вплив стрічконоправляючих валиків на динаміку всієї електромеханічної системи незначний і ними можна знехтувати.

При побудові компонентів враховуються тільки основні механізми і зв'язки. Паперова стрічка розміщується між двома циліндрами, які є ведучими. Стрічка не проковзує по циліндрах. Процес деформації стрічки не залежить від співвідношення лінійних швидкостей циліндрів. Збурення приводять до зміни натягу стрічки, що викликає несуміщення фарб на відбитках зміщення рубання, фальцування та інше [6].

Компоненти побудовані так, щоб зменшити кількість елементів на структурній схемі і зменшити число зв'язків, що спрощує процес введення параметрів моделі в ЕОМ. Спочатку розглядаються прості компоненти, а потім більш складні. Маючи математичний опис компонентів складаються математичні та структурні моделі електромеханічної системи в цілому.

3. МОДЕЛІ БАГАТОПОЛЮСНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Електромеханічні системи представляються сукупністю компонентів та зв'язків між ними. Схема і порядок опису систем в значній мірі визначають складність програмного забезпечення і рівень підготовки користувача ПК. Для інженера більш прийнятним є опис системи в звичному фізичному базисі. Важливим є рівень деталізації системи. При низькому рівні деталізації спрощується опис елементів, але зростає число зв'язків, система втрачає наглядність і зручність використання, а її розробка вимагає високої кваліфікації дослідника. Модель багатополісного компонента електромеханічної системи M_k задається множиною

$$Mk = (Y, X, Z), \quad (1)$$

де Y, X – множини відповідно вихідних та вхідних змінних, Z – множина зв'язків.

Під зв'язками розуміється причинно-наслідкові відношення між упорядкованими парами (y_i, x_i) змінних, або бінарне відношення на множині Z .

В залежності від прийнятого опису компонентів множини можуть бути функції неперервного часу $x_i(t), y_i(t)$, або послідовності $x_i(n), y_i(n)$, а також їхнє зображення по Лапласу $x_i(s), y_i(s)$ або Z – перетворення $x_i(z), y_i(z)$.

Множина зв'язків Z задається операторами зв'язку z_{ij} між змінними. Кожному зв'язку (i, j) між змінними y_i та x_j відповідає оператор z_{ij} . При прийнятому описі компонента його структурна схема наведена на рис. 1.

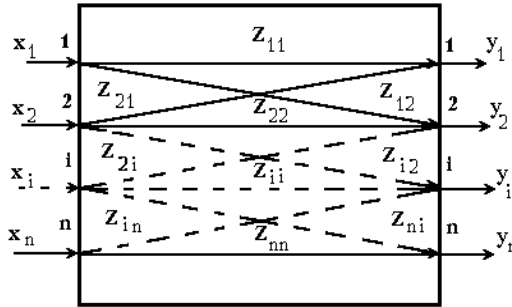


Рис. 1. Структурна схема компонента

Оператор може бути представлений в різних формах, від яких залежить спосіб задання його структури.

Якщо за форму представлення оператора прийняти диференціальне рівняння n -го порядку в операторній формі запису, тоді

$$D(p)y(t) = G(p)x(t), \quad (2)$$

де $D(p) = d_n p^n + d_{n-1} p^{n-1} + \dots + d_1 p + d_0$,

$G(p) = g_m p^m + g_{m-1} p^{m-1} + \dots + g_1 p + g_0$ – оператори поліноми,

$p = d/dt$ – оператор диференціювання по часу.

Оператор можна задати зв'язками між зображеннями змінних по Лапласу передавальною функцією:

$$Y(s) = W(s)X(s), \quad (3)$$

де $W(s) = G(s)D(s)$ – передавальна функція,

s – оператор Лапласа.

Оператор зв'язку може бути представлений у вигляді системи диференціальних зв'язків першого порядку в так званій формі Коші (в змінних стану)

$$\dot{V} = Av + Bx \quad (4)$$

$$Y = Cv, \quad (5)$$

де v – n -мірний вектор змінних стану,

A – матриця коефіцієнтів ($n \times n$),

B – матриця входу, C – матриця виходу ($1 \times n$).

Оператор може задаватися в формі часових характеристик. Наприклад, імпульсної перехідної функції $w(t)$:

$$y(t) = \int_0^t \omega(\tau) x(t-\tau) d\tau. \quad (6)$$

4. ЕЛЕМЕНТАРНІ КОМПОНЕНТИ

Найпростіші двополосні компоненти (елементарні компоненти) мають один вхід і вихід і описуються передавальною функцією $W_{11}(s)$

$$Y_1(s) = W_{11}(s)X_1(s). \quad (7)$$

Для спрощення форми запису оператор s будемо опускати. Якщо компонент має один вхід і два виходи (рис.2) з передавальними функціями W_{11} і W_{21} , то триполосний компонент описується матричною передавальною функцією

$$[W] = \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{21} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Більш складні чотириполосні компоненти мають два входи і два виходи з передавальними функціями W_{11} , W_{21} , W_{22} (рис.3) описуються:

$$[W] = \begin{bmatrix} W_{11} & 0 \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Якщо зв'язки між входами з передавальними функціями W_{11} , W_{12} , W_{21} , W_{22} (рис.4), то компоненти описуються матричною передавальною функцією

$$[W] = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

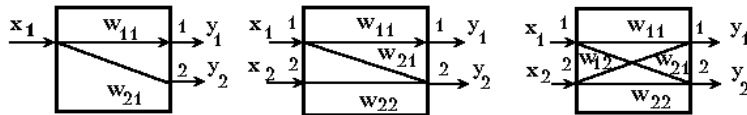


Рис. 2

Рис. 3

Рис. 4

Компоненти електромеханічних систем мають не більше трьох входів і виходів і описуються матричною передавальною функцією

$$[W] = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Фізичні змінні компонентів прийнято позначати певними буквами, а не x_i та y_i , тому для зручності і збереження індексації передавальних функцій W_{ij} входи та виходи на схемах компонентів додатково нумеруються. Прийнята нумерація входів та виходів – зверху вниз. Індекси передаточних функцій – це впорядковані пари чисел (i, j) : перше з них є номер виходу, а друге номер входу.

Окремі зв'язки між змінними можуть бути відсутні, або окремі змінні з проміжними змінними, які не цікавлять дослідника, тому на схемах відсутні.

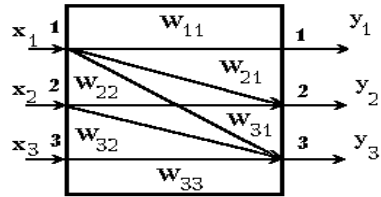


Рис. 5

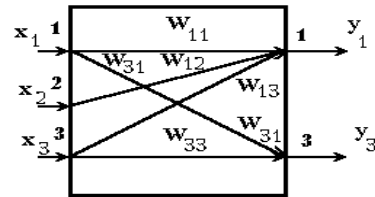


Рис. 6

Наприклад, для схеми рис.5 матрична передавальна функція матиме вигляд

$$[W] = \begin{bmatrix} W_{11} & 0 & 0 \\ W_{21} & W_{22} & 0 \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Кількість входів не завжди дорівнює кількості виходів. Наприклад, компонент який має три входи і два виходи і не всі зв'язки (рис.6) описуються матричною передавальною функцією

$$[W] = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ W_{31} & 0 & W_{33} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Зв'язки між вхідними і вихідними змінними багатополосних компонентів описується матричною передавальною функцією

$$Y(s) = [W]X(s). \quad (14)$$

або в розгорнутій формі запису для (11),

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ W_{31} & 0 & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Зазначимо, що матричну передавальну функцію можна визначити за диференціальними рівняннями компонентів, або за структурною схемою компонентів. Тоді передавальну функцію W_{ij} можна розглядати, як оператор зв'язку між i -тою вихідною змінною компонента та j -тою вхідною змінною.

5. МОДЕЛІ КОМПОНЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ РОТАЦІЙНИХ МАШИН

Компоненти механічних систем складаються з елементарних компонентів і зв'язків між ними. Зв'язки можуть бути прямі та зворотні. Число входів та виходів приймаємо не більше трьох.

Розглянемо простий компонент механіки ротаційних машин – одномасну систему з пружним валом, яку можна розглядати як другу секцію багатосекційної ротаційної машини з пружними валопроводами. Рівняння руху секції

$$J_2 \frac{d\omega}{dt} = M_{12} - M_2 - M_{23}, \quad (16)$$

де J_2 – приведений момент інерції обертових мас другої секції;

ω_2 – кутова швидкість;

M_{12} – приведений момент пружного зв'язку;

M_2 – сумарний приведений момент навантаження та сил опору;

M_{23} – приведений момент пружного зв'язку з наступною секцією.

$$M_{12} = C_2 \int (\omega_1 - \omega_2) dt, \quad (17)$$

де c_2 – приведена жорсткість пружного зв'язку між першою та другою секціями.

Переходячи до зображень із (17) знайдемо залежність швидкості від моментів в операторній формі запису

$$\omega_2 = \frac{1}{J_2 S} (M_{12} - M_2 - M_{23}), \quad (18)$$

Аналогічно із (18) матимемо

$$M_{12} = \frac{C_2}{S} (\omega_1 - \omega_2), \quad (19)$$

Прийнявши за вхідні змінні компонентів w_1 , M_2 та M_{23} , а за вихідні змінні – w_2 , M_{12} , із (17, 19) запишемо матричну передавальну функцію компонента пружності з інерційністю (рис.7):

$$[W] = \frac{\begin{bmatrix} C_2 & -S & -S \\ C_2 J_2 & C_2 & C_2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}{J_2 S^2 + C_{12}}. \quad (20)$$

Матрична структурна схема пружного з інерційністю компонента приведена на рис.7.

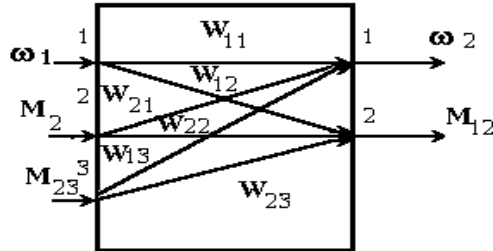


Рис. 7. Матрична структурна схема пружного з інерційністю компонента

Якщо до (17, 19) врахувати рівняння (20), то після перетворень матимемо матричну передавальну функцію компонента: пружність з інерцією і в'язким тертям

$$[W] = \frac{\begin{bmatrix} C_2 & -S & -S \\ (J_2 S + d_2) C_2 & C_2 & C_2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}{J_2 S^2 + (d_2 + b_2) S + C_2}. \quad (21)$$

Матрична передавальна функція компонента: пружність з інерційністю в'язким та пружним тертям.

$$[W] = \frac{\begin{bmatrix} C_2 & -S & -S \\ (J_2 S + d_2) C_2^* & b_2 S + C_2 & C_2 \\ *(b_2 S + C_2) & 0 & 0 \end{bmatrix}}{J_2 S^2 + (d_2 + b_2) S + C_2} \quad (22)$$

6. ВИСНОВКИ

Приведені математичні та структурні моделі компонентів механіки є базою для побудови моделей електромеханічних систем, складання алгоритмів та програм моделювання. З них легко записати зв'язок вхідних змінних компонента від вхідних.

1. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Автоматизация моделирования многосвязных механических систем. – М., 1987. – 240 с.
2. Дурняк Б. В. Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин. -К., 2002. – 292 с.
3. Дурняк Б. В., Тимченко О. В. Математичне моделювання і реалізація систем керування стрічкопровідними системами. – К., 2003. – 232с.
4. Луцків М. М., Стасенко В. Д., Шевчук О. В. Багатополосні моделі електромеханічних систем// Техническая электродинамика. - №1. – 1994. – С. 39-42.
5. Луцків М.М., Стасенко В.Д., Шевчук О. В. Багатополосні компоненти електромеханічних систем //Технічна электродинаміка. -К.- 1993.- №6. 6. Поллюдов О.М. Механіка поліграфічних і пакувальних машин: Навч. посібн.- Львів, 2005. – 178 с.