

АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМПЛЕКСНА МЕХАНІЗАЦІЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 621.9.06

М.М.Луцків, О.В.Шевчук

БАГАТОПОЛЮСНІ МОДЕЛІ РУЛОННИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН З ПРУЖНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

Використання опису електромеханічних систем у вигляді системи диференціальних і двополюсних структурних схем (1) для розрахунків на ЕОМ є неефективним, ускладнює програмування та вимагає певного рівня підготовки користувача ЕОМ.

У даній роботі опис електромеханічних систем рулонних друкарських машин з пружними зв'язками виконаний на основі багатополюсних компонентів.

Аналіз показує, що досить широкий клас електромеханічних систем рулонних друкарських машин з пружними зв'язками можна описати шестиполюсними компонентами, які мають три входи і три виходи. Шестиполюсний компонент електромеханічної системи опишемо системою рівнянь в операторній формі запису

$$\begin{aligned}y_1(s) &= W_{11}(s) x_1(s) + W_{12}(s) x_2(s) + W_{13}(s) x_3(s) , \\y_2(s) &= W_{21}(s) x_1(s) + W_{22}(s) x_2(s) + W_{23}(s) x_3(s) , \\y_3(s) &= W_{31}(s) x_1(s) + W_{32}(s) x_2(s) + W_{33}(s) x_3(s) ,\end{aligned}\tag{1}$$

де $W_{ij}(s)$ — передатна функція, яка характеризує зв'язок між змінними — i -ю вихідною y_i та j -ю вхідною x_j .

Для компактності систему рівнянь (1) подамо в матричній формі запису, опустивши оператор (3):

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}.\tag{2}$$

Матричні передатні функції W_{ij} можна визначити за диференціальним рівнянням компонента або за його структурною схемою.

Розглянемо багатосекційну електромеханічну систему рулонної друкарської машини з пружними зв'язками, схема якої наведена на рис. 1. Стрічка розмотується з рулону і проводиться через ряд секцій,

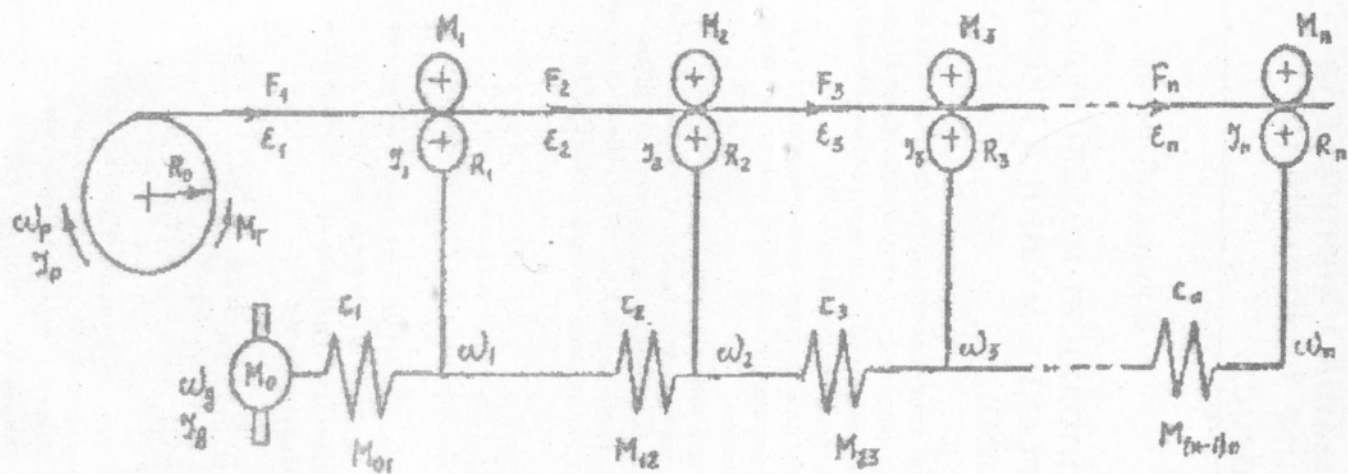


Рис.2. Схема багатосекційної електромеханічної системи рулонної друкарської машини з пружними зв'язками.

де здійснюються друкування та інші технологічні операції. Машина приводиться в рух від електродвигуна M_0 головного приводу. Електромеханічну систему рулонної друкарської машини можна подати у вигляді багатополюсних компонентів механічної та стрічкопровідної (рулону) систем і електродвигуна.

Лінійний багатополюсний компонент механічної системи описує одномасну систему з пружним елементом і в'язким тертям (валопровід — друкарська секція). Рівняння руху i -го механічного компонента (1,2)

$$J_i \frac{d\omega_i}{dt} = M_{i-1i} - M_{i+1i} - M_i - M_{iT}, \quad (3)$$

де J_i — приведений момент інерції обертових мас секції; ω_i — кутова швидкість маси; M_{i-1i} , M_{i+1i} — моменти пружного зв'язку, які виникають при деформації пружних валопроводів, прикладених до цієї маси; M_i — сумарний момент навантажень і сил опору, прикладений до обертової маси; M_{iT} — момент від сил тертя.

Момент пружного зв'язку пропорційний кутові повороту окремих мас, є інтегралом від різниці швидкостей [2]

$$M_{i-1i} = c_i \int (\omega_{i-1} - \omega_i) dt, \quad (4)$$

де c_i — жорсткість пружного зв'язку валопроводу i -го компонента.

Момент в'язкого тертя в першому наближенні приймаємо лінійно-залежним від швидкості

$$M_{iT} = d_i \omega_i, \quad (5)$$

де d_i — коефіцієнт пропорційності.

Перейдемо до операторної форми запису (3) — (5) і розв'яжемо рівняння відносно відповідних змінних:

$$\omega_i = \frac{1}{J_i s} (M_{i-1i} - M_{i+1i} - M_i - d_i \omega_i), \quad (6)$$

$$M_{i-1i} = \frac{c_i}{s} (\omega_{i-1} - \omega_i). \quad (7)$$

Прийнявши за вихідні змінні ω_i , M_{i-1i} та M_{iT} з (5) — (7), після підстановки та перетворень отримаємо систему рівнянь

$$\begin{aligned} \omega_i &= [c_i \omega_{i-1} - s M_{i+1i} - s M_i] \Delta^{-1} M(s), \\ M_{i-1i} &= [c_i (J_i s + d_i) \omega_{i-1} + c_i M_{i+1i} + c_i M_{i+1i}] \Delta^{-1} M(s), \\ M_{iT} &= [d_i c_i \omega_{i-1} - d_i M_{i+1i} s - d_i M_i s] \Delta^{-1} M(s), \end{aligned} \quad (8)$$

де визначник компонента

$$\Delta_M(s) = J_i s^2 + d_i s + c_i. \quad (9)$$

Подамо (8) у матричній формі запису й одержимо матричне рівняння компонента механічної системи рулонної друкарської машини з пружними валопроводами

$$\begin{bmatrix} \omega_i \\ M_{i+1} \\ M_{iT} \end{bmatrix} = \frac{\begin{bmatrix} c_i & -s & -s \\ c_i(J_i s + d_i) & c_i & c_i \\ d_i c_i & -d_i s & -d_i s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{i-1} \\ M_{i+1} \\ M_i \end{bmatrix}}{J_i s^2 + d_i s + c_i} \quad (10)$$

Надаючи i значення від 1 до n з (10), можна отримати загальну систему матричних рівнянь n -масної багатосекційної механічної системи рулонної друкарської машини з пружними зв'язками.

У прийнятій моделі не враховується вплив сили натягу стрічки на навантаження секції, який є незначним. Опис (10) компонента механічної системи рулонної друкарської машини з пружними зв'язками є формалізованим, що важливо для розрахунку на ЕОМ.

Багатополосний компонент стрічкопровідної системи (ділянка стрічки між двома секціями) можна описати відомим диференціальним рівнянням натягу стрічки на ділянці [2]

$$T_i \frac{dF}{dt} + F_i = K_c (R_i \omega_i - R_{i-1} \omega_{i-1}) + F_{i-1}, \quad (11)$$

де T_i , K_c — стала часу та коефіцієнт передачі ділянки стрічки; F_i — сила натягу стрічки; F_{i-1} — сила натягу стрічки на попередній ділянці; R_i , R_{i-1} — радіуси циліндрів відповідних секцій.

Виразимо деформацію стрічки на ділянці через силу натягу

$$\varepsilon_i = \frac{1}{c L_i} F_i, \quad (12)$$

де c , L_i — жорсткість стрічки та довжина ділянки стрічки між секціями.

Зміщення стрічки на ділянці [2]

$$l_i = \int \bar{r}_i \omega_i \varepsilon_i dt. \quad (13)$$

Перейшовши до операторної форми запису в (11) — (13), після підготовки і перетворень матимемо

$$F_i = \left[-K_c R_{i-1} \omega_{i-1} + K_c R_i \omega_i + F_{i-1} \right] \Delta_c^{-1}(s), \quad (14)$$

$$\varepsilon_i = \left[-\frac{K_c R_{i-1} \omega_{i-1}}{c L_i} + \frac{K_c R_i \omega_i}{c L_i} + \frac{F_{i-1}}{c L_i} \right] \Delta_c^{-1}(s), \quad (14)$$

$$l_i = \left[-\frac{K_c R_{i-1} R_i \omega_{i-1} \omega_i}{c L_i s} + \frac{K_c R_i^2 \omega_i^2}{c L_i s} + \frac{R_i F_{i-1} \omega_i}{c L_i s} \right] \Delta_c^{-1}(s),$$

де визначник компонента

$$\Delta_c(s) = T_i s + 1. \quad (15)$$

Застосувавши матричну форму запису, дістанемо матричне рівняння компонента стрічкопровідної ділянки рулонної друкарської машини

$$\begin{bmatrix} F_i \\ \varepsilon_i \\ l_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -K_c R_{i-1} & K_c R_i & 1 \\ -\frac{K_c R_{i-1}}{c L_i} & \frac{K_c R_i}{c L_i} & \frac{1}{c L_i} \\ -\frac{K_c R_{i-1} R_i \omega_i}{c L_i s} & \frac{K_c R_i^2 \omega_i}{c L_i s} & \frac{R_i \omega_i}{c L_i s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{i-1} \\ \omega_i \\ F_{i-1} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

$$T_i s + 1$$

Важливим компонентом рулонних друкарських машин є розмотувальна секція. Запишемо рівняння руху рулону, з якого розмотується стрічка, вважаючи радіус рулону постійним.

$$J_p \frac{d\omega_p}{dt} = M_p - M_z - M_c, \quad (17)$$

де J_p , ω_p — момент інерції та кутова швидкість рулону; M_z — гальмівний момент, прикладений до рулону, який враховує навантаження та збурення, прикладені до рулону.

Момент сили опору в першому наближенні приймаємо пропорційним кутовій швидкості рулону

$$M_c = d_p \omega_p, \quad (18)$$

де d_p — коефіцієнт пропорційності.

Рушійний момент, прикладений до рулону, створюється за рахунок сили натягу стрічки

$$M_p = R_0 F_1, \quad (19)$$

де R_0 — радіус рулону.

Перейшовши до операторної форми запису з (17) — (19), дістанемо

$$\omega_p = \frac{1}{J_p s + d_p} (R_0 F - M_z). \quad (20)$$

Прийнявши за вхідні змінні F_1 і M_z , після перетворень одержуємо систему рівнянь

$$\begin{aligned} \omega_p &= (R_0 F_1 - M_z) \Delta_p^{-1}(s), \\ M_c &= (d_p R_0 F_1 - d_p M_z) \Delta_p^{-1}(s), \end{aligned} \quad (21)$$

де визначник компонента

$$\Delta_p(s) = J_p s + d_p. \quad (22)$$

Застосувавши матричну форму запису, отримаємо матричне рівняння компонента розмотувальної секції

$$\begin{bmatrix} \omega_p \\ M_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 & -1 \\ d_p R_0 - d_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ M_z \end{bmatrix} \quad (23)$$

Розглянемо електродвигун постійного струму як компонент електромеханічної системи. Рівняння руху двигуна в операторній формі запису (2) набуває вигляду

$$\omega_g = \frac{1}{J_g s} (M_g - M_{01} - M_0), \quad (24)$$

де J_g — приведений момент інерції двигуна; M_{01} — момент пружного зв'язку з першою секцією друкарської машини; M_0 — момент сил опору; ω_g — кутова швидкість.

З рівняння електричного кола двигуна визначимо струм якоря в операторній формі [2]

$$I_g = \frac{1}{R_A (T_A s + 1)} (E_n - c_g \omega_g), \quad (25)$$

де T_A — стала часу кола якоря; c_g — стала двигуна; E_n — напруга, підведена до якоря двигуна.

Момент, що розвиває двигун, вважаємо пропорційним струмові якоря [2]

$$M_g = c_g I_g. \quad (26)$$

Прийнявши за входні змінні E_n , M_{01} та M_0 , після перетворень (24) — (26) отримаємо систему рівнянь

$$\begin{aligned} \omega_g &= [c_g E_n - R_A (T_A s + 1) M_{01} - R_A (T_A s + 1) M_0] \Delta_g^{-1}(s), \\ M_g &= [c_g J_g E_n s - c_g^2 M_{01} + c_g^2 M_0] \Delta_g^{-1}(s), \\ I_g &= [J_g E_n s + c_g M_{01} - c_g M_0] \Delta_g^{-1}(s), \end{aligned} \quad (27)$$

де визначник компонента

$$\Delta_g(s) = R_A T_A J_g s^2 + T_A J_g s + c_g^2. \quad (28)$$

Перейшовши до матричної форми запису, дістанемо матричне рівняння компонента двигуна постійного струму

$$\begin{bmatrix} \omega_g \\ M_g \\ I_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_g & -R_A (T_A s + 1) & -R_A (T_A s + 1) \\ c_g J_g s & c_g^2 & c_g^2 \\ J_g s & c_g & c_g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_n \\ M_{01} \\ M_0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$R_A T_A J_g s^2 + T_A J_g s + c_g^2$$

На основі матричних рівнянь компонентів (10), (16), (23), (29) можна побудувати матричну структурну схему електромеханічної системи рулонної друкарської машини, що складається з багатополосних компонентів і зв'язків між ними. На схемі компоненти мають вигляд прямокутників, у верхній частині яких записується ідентифі-

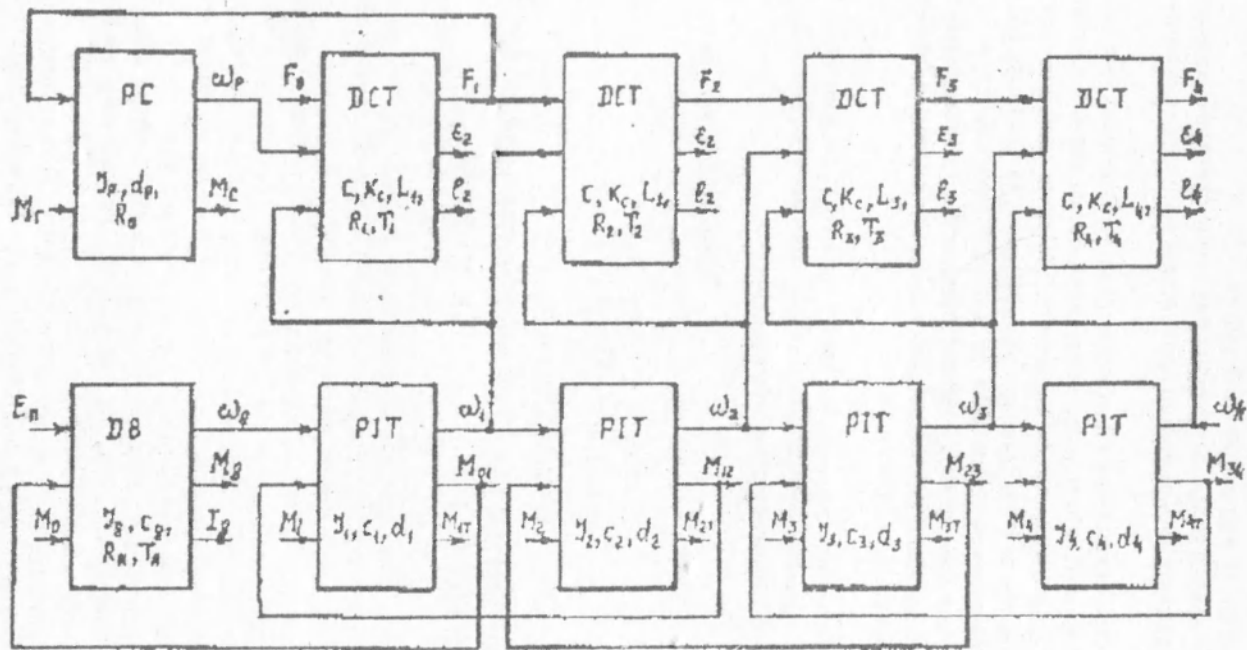


Рис.2. Матрична структурна схема електромеханічної системи чотиришкідливої рулонної друкарської машини з пружними зв'язками.

катор компонента, а в нижній — його параметри, Вихідні та вхідні змінні позначаються відповідними буквами.

На рис. 2 наведена матрична структурна схема електромеханічної системи чотирисекційної рулонної друкарської машини з пружними зв'язками.

Опис електромеханічних систем у вигляді багатополюсних компонентів є формалізованим, простішим і зручнішим для використання на ЕОМ. При цьому число елементів і зв'язків зменшується в декілька разів, що значно спрощує опис системи та зменшує обсяг інформації для опису зв'язків у ній, полегшує роботу користувача.

На основі багатополюсних компонентів розроблено алгоритми та програми для моделювання електромеханічних систем рулонних друкарських машин на ЕОМ.

1. Ключев В.И. Теория электропривода. М., 1985.
2. Луцків М.М. Системи автоматичного керування ротаційними машинами з пружними зв'язками. К., 1991.
3. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. М., 1977.

Стаття надійшла до редколегії 15.01.94.