

УДК 678.067.5

Б. В. ДУРНЯК

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАМОТКИ ПАПЕРОВОЇ СТРІЧКИ З ДАТЧИКОМ РАДІУСА РУЛОНУ

Основним збуренням у системі намотки стрічкових матеріалів є зміна радіуса намотуваного рулону, тому система повинна автоматично змінювати швидкість приводного двигуна намотки.

Схема намотки рулону показана на рис. 1, а. Стрічка проходить останню друкарську секцію 1 з постійною лінійною швидкістю V_1 . На намотувальному пристрої вона намотується з постійною лінійною швидкістю V_2 в рулон 2. Рулон обертається з кутовою швидкістю ω за рахунок рушійного моменту M_p . Крім того, до рулону прикладено гальмівний момент M_r , що зв'язаний з натягом стрічки F залежністю

$$M_r = R \cdot F, \quad (1)$$

де R — радіус намотуваного рулону.

Враховуючи відому залежність лінійної швидкості стрічки V_2 від кутової швидкості рулону [2], а також передаточні

функції рулону і папероведучої ділянки [1, 2, 3], на рис. 1, б побудована спрощена модель системи папероведуча ділянка—рулон.

Запишемо залежність натягу від швидкості V_2 (рис. 1, б) як основного збурення, викликаного зміною радіуса рулону:

$$F(s) = \frac{E_c}{V_1(T_c s + 1)} \cdot \left[1 + \frac{k_p \cdot R^2 \cdot E_c}{(T_p s + 1)(T_c s + 1)V_1} \right]^{-1} \cdot V_2(s). \quad (2)$$

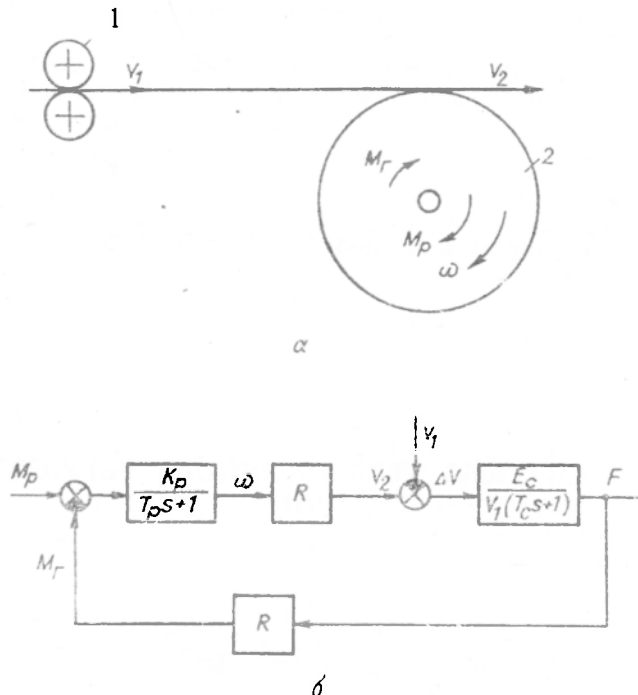


Рис. 1. Схема намотки рулону.

Після перетворень

$$F(s) = \frac{E_c(T_p s + 1)}{V_1} [(T_p s + 1)(T_c s + 1) + k_p R^2 E_c]^{-1} \cdot V_2(s). \quad (3)$$

Визначимо залежність сили натягу стрічки від швидкості в усталеному режимі, приймаючи, що оператор s дорівнює нулеві:

$$F = \frac{E_c/V_1}{1 + k_p \cdot R^2 \cdot E_c/V_1} \cdot V_2. \quad (4)$$

Після перетворень

$$F = \frac{E_c}{V_1 + k_p R^2 \cdot E_c} \cdot V_2 \quad (5)$$

Таким чином, статичне відхилення сили натягу в системі папєроведуча ділянка-рулон залежить від швидкості і коефіцієнта передачі рулону. Крім того, із (5) випливає, що сила натягу рулону суттєво залежить від квадрата радіуса рулону. Нехтуючи у виразі (4) одиницею, дістаємо

$$F = \frac{1}{k_p \cdot R^2} \cdot V_2 \quad (6)$$

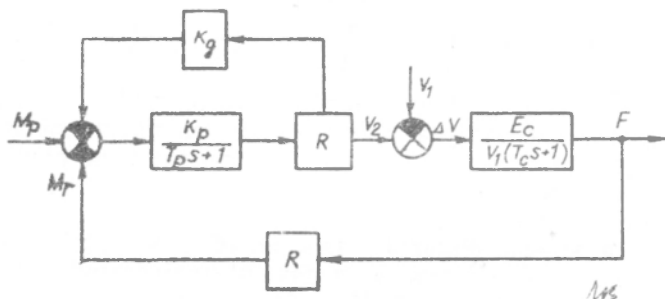


Рис. 2. Структурна схема системи намотки.

Сила натягу обернено пропорційна квадрату радіуса рулону.

Отже, у системі намотки рулону його радіус необхідно вимірювати за допомогою датчика радіуса. Сигнал, що знімається з датчика радіуса рулону, слід брати за вхідний сигнал регулятора для управління рушійним моментом, що прикладається до рулону.

На рис. 2 показана структурна схема системи намотки, у якій використовується датчик радіуса рулону і П-регулятор моменту. Залежність сили натягу стрічки від швидкості V_2 визначимо як

$$F(s) = \frac{E_c}{V_1 (T_c s + 1)} \left(1 + \frac{k_p \cdot R^2 \cdot E_c}{V_1 (T_p s + 1) (T_c s + 1)} + \frac{k_a \cdot k_p \cdot R}{T_p s + 1} \right)^{-1} \cdot V_2(s), \quad (7)$$

де k_a — коефіцієнт передачі датчика радіуса рулону.
Після перетворень

$$F(s) = \frac{E_c}{V_1 (T_p s + 1)} \left[(T_p s + 1) (T_c s + 1) + \frac{k_a \cdot k_p \cdot R}{T_c s + 1} + \right]$$

$$\left. + \frac{k_p R^2 \cdot E_c}{V_1} \right\}^{-1} \cdot V_2(s) \quad (8)$$

Залежність сили натягу стрічки від швидкостей V_2 в усталеному режимі знаходимо, як і в попередньому випадку, приймаючи, що оператор s дорівнює нулеві:

$$F = \frac{E_c}{1 + k_d \cdot k_p \cdot R + \frac{k_p \cdot R^2 \cdot E_c}{V_1}} \cdot V_2. \quad (9)$$

Після перетворень

$$F = \frac{E_c}{V_1 + k_d \cdot k_p \cdot R \cdot V_1 + k_p \cdot R^2 \cdot E_c} \cdot V_2. \quad (10)$$

Аналізуючи (10), бачимо, що для того, щоб у системі намотки з датчиком радіуса рулону добитись потрібної точності натягу паперової стрічки, незалежно від величини радіуса рулону та інших збурень, необхідно коефіцієнт передачі k_d у виразі (10) підібрати таким, щоб другий доданок знаменника у формулі був значно більшим за третій. Отже, для побудови системи намотки необхідно мати датчик радіуса рулону і регулятор моменту. Така система особливо ефективна у намотувальних пристроях, в яких привод рулону здійснюється за вісь і в процесі намотки значно змінюється лінійна швидкість рулону, якщо не змінювати кутову швидкість намотування рулону.

Для безобривної роботи системи намотки електродвигун намотувального пристрою повинен мати м'яку механічну характеристику. Оскільки система електропривода зі зворотнім зв'язком по швидкості має жорстку характеристику [5], то для системи намотки є доцільною система регулювання зі зворотнім зв'язком за напругою якоря електродвигуна приводу намотувального пристрою. Найбільш перспективною є система намотки паперової стрічки на базі двигуна постійного струму з тиристорним перетворювачем зі зворотнім зв'язком за напругою і датчиком радіуса рулону [1, 4]. Спрощена принципова схема запропонованої системи намотки зображена на рис. 3.

Швидкість руху стрічки задається напругою U_3 , яка змінюється з датчика R_1 . Необхідне зусилля намотки задає резистор R_2 , який заміняє глибину зворотнього зв'язку за напругою змінною напруги U_2 . Радіус рулону вимірюється через резистор R_3 , зв'язаний периферично з намотувальним рулоном. Напруга U_p пропорційна радіусу рулону. Сигнал розбалансу $\Delta U = U_3 - U_p - U_2$ подається на вхід тиристорного перетворювача ТП, підсилюється й надходить на електродвигун М, який приводить у рух рулон і забезпечує потрібну швидкість й зусилля намотки. У процесі намотування радіус рулону збільшується, внаслідок

чого підвищується й напруга U_p , що знімається з датчика радіуса рулону. Якщо максимальна напруга U_p приблизно дорівнює напрузі задатчика U_3 , то зростання напруги U_p діє на систему як зменшення напруги задатчика U_3 . Тому зі збільшенням радіуса рулону відбувається зменшення швидкості двигуна пропорційно зростанню радіуса.

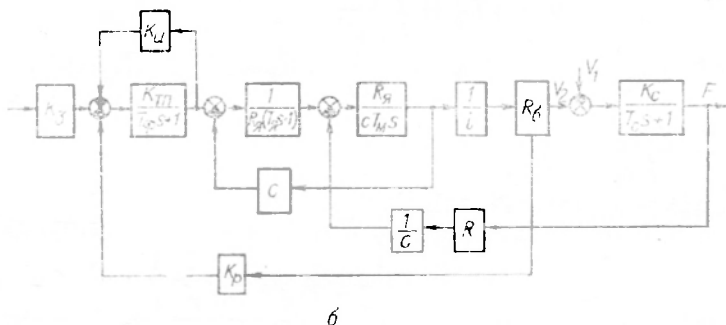
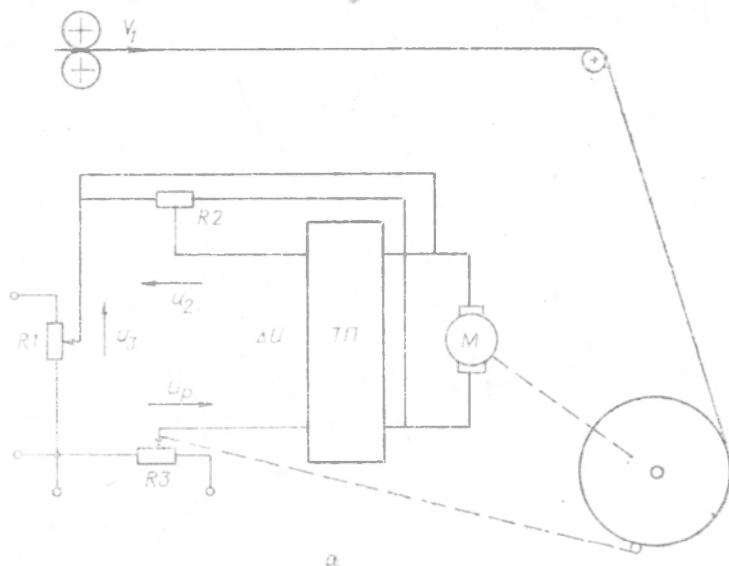


Рис. 3. Запропонована система намотки.

На основі принципової схеми рис. 3, а та [1, 3, 4] на рис. 3, б побудована структурна схема моделі системи намотки з врахуванням пружних властивостей паперової стрічки. Проаналізуємо її. Для цього за структурною схемою запишемо переда-

точно функцію замкнутої системи, користуючись формулою Мейсона:

$$\Phi(s) = \frac{F_n(s)}{\omega_3(s)} = \frac{k_{\text{тп}}}{T_{\phi}s + 1} \cdot \frac{k_c R_6 \cdot k_3}{i \cdot c \cdot (T_{\text{я}}s + 1)(T_c s + 1)T_m s} \times \\ \times \left[1 + \frac{k_{\text{тп}} \cdot R_6 \cdot k_p}{i \cdot c (T_{\phi}s + 1)(T_{\text{я}}s + 1)T_m s} + \frac{R_{\text{я}} R_6^2 k_c}{ic^2 T_m s (T_c s + 1)} + \right. \\ \left. + \frac{1}{(T_{\text{я}}s + 1)T_m s} + \frac{k_n \cdot k_{\text{тп}}}{T_{\phi}s + 1} \left(1 + \frac{1}{T_m s (T_{\text{я}}s + 1)} + \frac{R_{\text{я}} R_6^2 k_c}{ic^2 T_m s (T_c s + 1)} \right) \right]^{-1} \quad (11)$$

Після перетворень

$$\Phi(s) = \frac{b}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}, \quad (12)$$

де

$$a_4 = T_c \cdot T_{\text{я}} T_{\phi} T_m;$$

$$a_3 = T_c T_{\text{я}} T_m + T_{\phi} T_m T_c + T_{\phi} T_{\text{я}} T_m + k_n k_{\text{тп}} T_c T_{\text{я}} T_m;$$

$$a_2 = T_c T_m + T_{\text{я}} T_m + T_{\phi} T_m + T_c T_{\phi} + R_{\text{я}} \cdot R_6 \frac{1}{c^2 i} k_c T_{\phi} T_{\text{я}} + \\ + K_n K_{\text{пт}} (T_c T_m + T_{\text{я}} T_m);$$

$$a_1 = T_m + T_c + T_{\phi} + \frac{1}{ci} K_{\text{тп}} K_p R_6 T_p + \frac{1}{c^2 i} K_c R_{\text{я}} R_6^2 T_{\text{я}} + R_{\text{я}} R_6 \frac{1}{c^2 i} \times \\ \times k_c (T_{\phi} + T_{\text{я}}) + k_n k_{\text{тп}} (T_m + T_c);$$

$$a_0 = 1 + k_n k_{\text{тп}} + \frac{1}{c^2 i} R_{\text{я}} R_6^2 k_c + \frac{1}{ci} k_{\text{тп}} R_6 k_n + \frac{1}{c^2 i} R_{\text{я}} R_6 \cdot k_c;$$

$$b = \frac{k_{\text{тп}} \cdot R_6 \cdot k_c \cdot k_3}{i \cdot c}.$$

Розглянемо статичні співвідношення у системі намотки. Для цього прийнемо, що оператор Лапласа s дорівнює нулеві:

$$\Phi(0) = \frac{F_n(0)}{\omega_3(0)} = \frac{k_{\text{тп}} \cdot k_c \cdot k_3 \cdot R_6 \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{i}}{1 + k_n k_{\text{тп}} + \frac{1}{c^2 i} R_{\text{я}} R_6^2 k_c + \frac{1}{c i} R_6 k_{\text{тп}} k_n + \\ + \frac{1}{c^2 i} R_{\text{я}} R_6 \cdot k_c} \quad (13)$$

Нехтуючи одиницею в знаменнику (13) і поділяючи почленно його чисельник і знаменник на $k_{\text{тп}}$, одержимо:

$$\Phi(o) = \frac{\frac{1}{c \cdot i} k_3 k_c R_6}{k_n + \frac{1}{i c^2} R_{\text{я}} R_6^2 \frac{k_c}{k_{\text{тп}}} + \frac{1}{i c} k_p R_6 + \frac{1}{i c^2} R_{\text{я}} R_6 \frac{k_c}{k_{\text{тп}}}}. \quad (14)$$

Оскільки коефіцієнт передачі паперової стрічки k_c досить великий [3], то, нехтуючи $1/R_6$, після скорочення на $1/i$ і наступних перетворень, записуємо:

$$\Phi(o) = \frac{1/c k_p k_c}{1/c k_n + \frac{c^2 i k_{\text{тп}} k_n + R_{\text{я}} R_6 k_c + R_{\text{я}} k_c}{k_{\text{тп}}}}. \quad (15)$$

Аналіз (15) свідчить, що у запропонованій системі намотки з датчиком радіуса рулону при великому коефіцієнті k_p датчика радіуса рулону зусилля натягу не залежить від радіуса рулону.

Стаття надійшла до редколегії 12.01.90