

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ І ВИДАВНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 678.067.5

І. А. ВОЛОШАК, Б. В. ДУРНЯК, М. М. ЛУЦКІВ, І. Т. СТРЕПКО

АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ НАМОТКИ ПАПЕРОВОЇ СТРІЧКИ

На рулонних друкарських машинах при друкуванні з роля на роль і інших поліграфічних машинах потрібно регулювати зусилля намотки паперової стрічки. При ручному регулюванні здебільшого використовується фрикційна передача з ручним керуванням. Суттєвий недолік фрикційної передачі — громіздкість, непостійність передаточного числа у межах одного оберту, що призводить до виникнення коливань паперової стрічки. Тому при ручному регулюванні бобіна має різну щільність намотки по радіусу. Ручне регулювання намотки відволікає друкаря від основного технологічного процесу друкування.

Автоматизація процесу регулювання зусилля намотки дає змогу нормалізувати процес, підвищує якість намотки бобін, поліпшує умови роботи друкаря.

Побудова автоматичних регуляторів намотки паперової стрічки на базі двигуна постійного струму з тиристорним перетворювачем найбільш перспективна [1].

Залежно від параметрів паперової стрічки, потрібної точності, діапазону регулювання швидкості та сили натягу будують системи прямої і посередньої дії [1, 2].

Крім давача натягу, у системах прямої дії є ще давач швидкості, який необхідний для забезпечення роботи системи у перехідних режимах і при переході зі заправочної швидкості на роботу. Такі системи мають добрі показники, але технічна реалізація, розрахунок і їх налагодження складні.

У системах посередньої дії контролюється струм двигуна, який лише в першому наближенні пропорційний натягу паперової стрічки. Цю залежність сильно спотворюють складові струму, пропорційні динамічному моменту і втратам у двигуні та механізмі, тому точність посереднього регулювання зусилля натягу відносно низька [1]. Використовувати такі системи у машинах з осьовим приводом намотки недоцільно, оскільки при намотуванні стрічки на бобіну значення її радіусу, а отже, кутова швидкість і момент двигуна змінюються в широких межах.

Точність регулювання зусилля намотки потрібна невисока (3...5%), тому такі системи можна будувати без давача сили

Спрощена структурна схема системи рис. 3 отримується зі схеми рис. 2, якщо знехтувати внутрішнім зворотним зв'язком по зусиллю натягу і прийняти швидкість постійною. Ця схема системи справедлива тільки для приростів всіх змінних.

Проаналізуємо систему за спрощеною і повною схемами, та зіставимо отримані результати.

Відповідно до структурної схеми рис. 3 запишемо передаточну функцію замкнутої системи без врахування внутрішнього зворотного зв'язку по зусиллю натягу в приростах

$$\Phi(s) = \frac{F_H(s)}{F_{H3}(s)} = \frac{W_3(s)W_{\text{тп}}(s) \cdot \frac{1}{c(T_{\text{я}}s+1)T_{\text{м}}s} \cdot \frac{1}{i} \cdot R_6 \cdot W_{\text{л}}(s)}{1 + \frac{1}{c(T_{\text{я}}s+1)T_{\text{м}}s} + \frac{W_{\text{тп}}(s) \cdot R_6 \cdot W_{\text{д}}(s)}{c \cdot i(T_{\text{я}}s+1)T_{\text{м}}s}}, \quad (1)$$

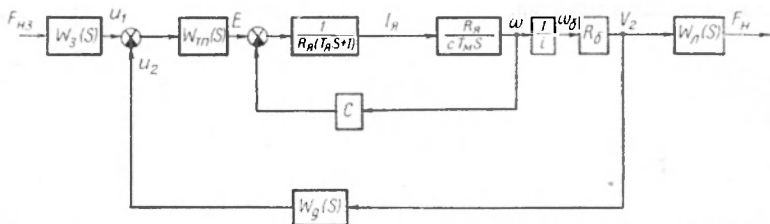


Рис. 3. Спрощена структурна схема системи.

де F_H , F_{H3} — дійсне і задане значення сили натягу; $W_3(s)$, $W_{\text{тп}}(s)$, $W_{\text{л}}(s)$, $W_{\text{д}}(s)$ — передаточні функції задатчика, тиристорного перетворювача, ділянки паперової стрічки і давача лінійної швидкості стрічки; c — коефіцієнт двигуна; $T_{\text{я}}$ — електромагнітна стала часу кола якоря двигуна; $T_{\text{м}}$ — електромеханічна стала часу електропривода; R_6 — радіус бобіни; i — передаточне число редуктора електропривода.

Передаточні функції окремих ланок системи

$$W_{\text{тп}}(s) = \frac{k_{\text{тп}}}{T_{\text{ф}}s + 1}; \quad W_{\text{л}}(s) = \frac{k_0}{T_0s + 1},$$

$$W_3(s) = k_3, \quad W_{\text{д}}(s) = k_{\text{д}}, \quad (2)$$

де $k_{\text{тп}}$ і $T_{\text{ф}}$ — коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача і стала часу його фільтра; k_0 і T_0 — коефіцієнт передачі та стала часу ділянки паперової стрічки; k_3 — коефіцієнт передачі задатчика; $k_{\text{д}}$ — коефіцієнт передачі давача лінійної швидкості стрічки.

Після перетворення (1) з врахуванням (2) отримаємо передаточну функцію замкнутої системи

$$\Phi(s) = \frac{\frac{k_3 \cdot k_{\text{л}}}{k_{\text{д}}} (a_0 - 1)}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

$$\begin{aligned} \text{де } a_4 &= T_{\text{я}} \cdot T_{\text{ф}} \cdot T_{\text{м}} \cdot T_0; \quad a_3 = (T_{\text{ф}} T_{\text{я}} + T_{\text{я}} T_0 + T_0 T_{\text{ф}}) T_{\text{м}}; \\ a_2 &= (T_{\text{я}} + T_{\text{ф}}) T_{\text{м}} + (T_{\text{м}} + T_{\text{ф}}) T_0; \quad a_1 = T_{\text{м}} + T_{\text{ф}} + a_0 \cdot T_0; \\ a_0 &= 1 + k_{\text{гп}} \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{l} \cdot R_6 \cdot k_{\text{д}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Маючи на увазі, що $a_0 \gg 1$, знаходимо потрібний коефіцієнт передачі задатчика

$$k_3 = \frac{k_{\text{д}}}{\kappa_0}. \quad (4)$$

Дослідження показали, що коефіцієнт a_4 на три порядки менший наступного коефіцієнта a_3 , тому при аналізі стійкості його можна не враховувати. Умова стійкості для системи третього порядку записується відомою формулою

$$a_2 \cdot a_1 > a_3 \cdot a_0. \quad (5)$$

Статична складова похибки системи по завданні при максимальному радіусові бобіни

$$\delta_{3\text{м}} = \frac{1}{1 + a_0}. \quad (6)$$

При радіусах бобіни, менших від максимального, статична складова похибки завдання

$$\hat{\delta}_3 = \frac{1}{1 + a_0 \frac{R_6}{R_{6\text{м}}}}, \quad (7)$$

де $R_{6\text{м}}$ і R_6 — максимальне і біжуче значення радіуса бобіни.

При значеннях коефіцієнта a_0 , значно більших одиниці, статична складова похибки системи по завданні

$$\hat{\delta}_3 = \delta_{3\text{м}} \cdot \frac{R_{6\text{м}}}{R_6}. \quad (8)$$

Таким чином, статична похибка системи натягу по завданні залежить від радіуса бобіни і змінюється у значних межах.

Тепер запишемо відповідні вирази для складової відносної похибки від навантаження

$$\hat{\delta}_{\text{гм}} = \frac{\Delta F_{\text{н}}}{\Delta F_{\text{нм}}} = \frac{k_f}{1 + a_0}, \quad (9)$$

$$\hat{\delta}_F = \frac{k_f \frac{R_6^2}{R_{6\text{м}}^2}}{1 + a_0 \frac{R_6}{R_{6\text{м}}}}, \quad (10)$$

де $\Delta \bar{F}_{\text{н}}$ — абсолютна похибка від навантаження;

$$k_f = \frac{R_{\text{я}}}{c^2} \cdot k_0 \cdot P_{6\text{м}} \cdot \frac{M_{\text{нм}}}{\Gamma_{\text{нм}}};$$

$M_{\text{мн}}, F_{\text{нм}}$ — момент, який розвиває двигун і зусилля намотки при максимальному радіусі бобіни.

При значеннях коефіцієнта a_0 , значно більших одиниці, складова відносно похибки від навантаження

$$\delta_f = \delta_{f_m} \frac{R_6}{R_{6m}}. \quad (11)$$

Таким чином, відносна похибка від навантаження зменшуватиметься при зменшенні радіуса бобіни.

Сумарна відносна похибка системи при максимальному та біжучому значеннях радіуса бобіни

$$\delta_m = \delta_{\text{зм}} + \delta_{F_m} = \frac{1}{1 + a_0} + \frac{\delta_f}{1 + a_0}; \quad (12)$$

$$\delta = \delta_{\text{зм}} \frac{R_{6m}}{R_6} + \delta_{F_m} \frac{R_6}{R_{6m}}. \quad (13)$$

Отже, при зменшенні радіуса бобіни похибка по завданні зростає, а по навантаженні, навпаки, зменшується.

А тепер на основі структурної схеми рис. 2 запишемо передаточну функцію замкнутої системи з врахуванням внутрішнього зворотного зв'язку по натягу

$$\Phi(s) = \frac{k_3 \cdot k_{\text{тп}} \cdot \bar{K}_6 \cdot k_0}{(T_\phi s + 1)(T_\pi s + 1)(T_0 s + 1) T_m s \cdot c \cdot i} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{(T_\pi s^2 + 1) T_m s} + \frac{k_{\text{тп}} \cdot \bar{K}_6 \cdot k_d}{(T_\phi s + 1)(T_\pi s + 1) \cdot T_m s \cdot c \cdot i} + \frac{R_\pi \cdot R_6^2 \cdot k_0}{i \cdot c^2 (T_0 s + 1) T_m s}}$$

Після перетворень маємо (14)

$$\Phi(s) = \frac{k_3 \cdot k}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}, \quad (15)$$

де

$$\begin{aligned} a_4 &= T_\phi T_\pi T_0 T_m; \quad a_3 = (T_\phi T_\pi + T_0 T_\phi + T_\pi T_0) T_m; \\ a_2 &= T_m (T_\pi + T_\phi + T_0) + T_\phi \left(T_0 + \frac{R_\pi \cdot R_6^2 \cdot k_0 \cdot T_\pi}{c^2 \cdot i} \right); \\ a_1 &= T_m + T_\phi + T_0 + \frac{k_{\text{тп}} \cdot R_6 \cdot k_d \cdot T_0}{c \cdot i} + \frac{R_\pi \cdot R_6^2 \cdot k_0 \cdot (T_\phi + T_\pi)}{c^2 \cdot i}; \\ a_0 &= 1 + \frac{k_{\text{тп}} \cdot \bar{K}_6 \cdot k_d}{c \cdot i} + \frac{R_\pi \cdot R_6^2 \cdot k_0}{i \cdot c^2}; \quad \bar{K} = \frac{k_{\text{тп}} \cdot R_6 \cdot k_0}{c \cdot i}. \end{aligned}$$

Нехтуючи одиницею у виразі для a_0 , знаходимо потрібний коефіцієнт передачі задавача

$$\bar{K}_3 = \frac{a_0}{k} = \frac{k_d}{k_0} + \frac{R_\pi R_6}{k_{\text{тп}} \cdot c}. \quad (16)$$

На відміну від формули (4), коефіцієнт передачі задавача у системі з врахуванням внутрішнього зворотного зв'язку залежить від значення радіуса бобіни.

Коефіцієнти a_2 і a_3 передаточної функції (3), визначені без врахування внутрішнього зворотного зв'язку і передаточної функції (15) з врахуванням внутрішнього зворотного зв'язку по натягу, однакові. Інші коефіцієнти різні.

Аналіз показав, що коефіцієнти a_2 , a_1 і a_0 у (15) більші від коефіцієнтів у формулі (3) на порядок. Тому умова (5) при врахуванні внутрішнього зворотного зв'язку виконується з деяким запасом.

Запишемо вирази для похибок системи

$$\delta = \frac{1}{1 + k_1 + k_2}, \quad (17)$$

де

$$k_1 = \frac{k_{\text{тп}} \cdot R_{\text{бм}} \cdot k_d}{c \cdot i}; \quad k_2 = \frac{R_{\text{я}} \cdot R_{\text{бм}} \cdot k_0}{c^2},$$

$$\delta_3 = \frac{1}{k_1 \frac{R_6}{R_{\text{бм}}} + k_2 \frac{R_6^2}{R_{\text{бм}}^2}}, \quad (18) \quad \delta_{\text{FH}} = \frac{k_f}{k_1 + k_2}, \quad (19)$$

$$\delta_F = \frac{k_f \frac{R_6}{R_{\text{бм}}}}{k_1 + k_2 \frac{R_6}{R_{\text{бм}}}}, \quad (20)$$

де

$$k_f = \frac{R_{\text{я}} \cdot R_6 \cdot k_0 \cdot M_{\text{нм}}}{c \cdot i}.$$

Отже, сумарна відносна похибка системи з врахуванням внутрішнього зв'язку за навантаженням менша від похибки (13) системи, яка визначена без врахування внутрішнього зворотного зв'язку

$$\delta = \frac{1}{k_1 \frac{D_0}{R_{\text{бм}}} + k_2 \frac{D_0^2}{R_{\text{бм}}^2}} + \frac{k_f \frac{R_6}{R_{\text{бм}}}}{k_1 + k_2 \frac{R_6}{R_{\text{бм}}}}. \quad (21)$$

Таким чином, статична точність і запас стійкості системи з посереднім вимірюванням зусилля натягу, розраховані без врахування внутрішнього зворотного зв'язку, значно менші, ніж з врахуванням останнього. Тому розрахунок системи потрібно проводити з врахуванням внутрішнього зворотного зв'язку.

Список літератури: 1. *Иванов Г. М., Хуторецкий В. М.* Автоматизированный многодвигательный электропривод постоянного тока. — М.: Энергия, 1978. 2. *Толстой Г. Д.* Автоматизация полиграфических производственных процессов. — М.: Книга, 1970.

The system considering the inner tension reverse coupling is analysed. The correlation for determining the stability and static precision is given.

Стаття надійшла в редколегію 06. 02. 81
