

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМ ТРЬОХ ДРУКАРСЬКИХ ПАР

© Дурняк Б.В., Тимченко О.В., 2001

The analytical research and simulation of dynamics a system of three printed pairs is conducted. The ratios between main parameters of a system in a static mode are determined.

Вступ

Рівномірна і стабільна подача стрічки в рулонній друкарській машині (РДМ) і її переміщення через технологічні секції є складним процесом. За короткий відрізок часу на стрічку діє не тільки інтенсивне механічне навантаження при проведенні через друкарські секції, але одночасно вона насичується вологою, що змінює її фізичні параметри. Для високої якості готової друкованої продукції в сучасних РРМ необхідно забезпечити високу точність нанесення фарб в межах 0,1 мм на окремих секціях. Тому постійний натяг стрічки є необхідною умовою для її управління і забезпечення необхідної якості друкованої продукції. Отже, при створенні адекватних моделей стрічкопереробних систем обов'язково необхідно врахувати нелінійну зміну параметрів стрічки під час обробки.

Аналітичне дослідження моделі

Для визначення взаємозв'язків, що спостерігається між механічними, електричними і технологічними параметрами стрічкопереробних систем в РРМ, необхідно побудувати і дослідити адекватні математичні моделі таких систем [1–4]. На основі моделі друкарської пари як об'єкта автоматичного керування [1] побудуємо структурну схему системи, що складається із трьох друкарських пар і двох ділянок стрічкового матеріалу між ними.

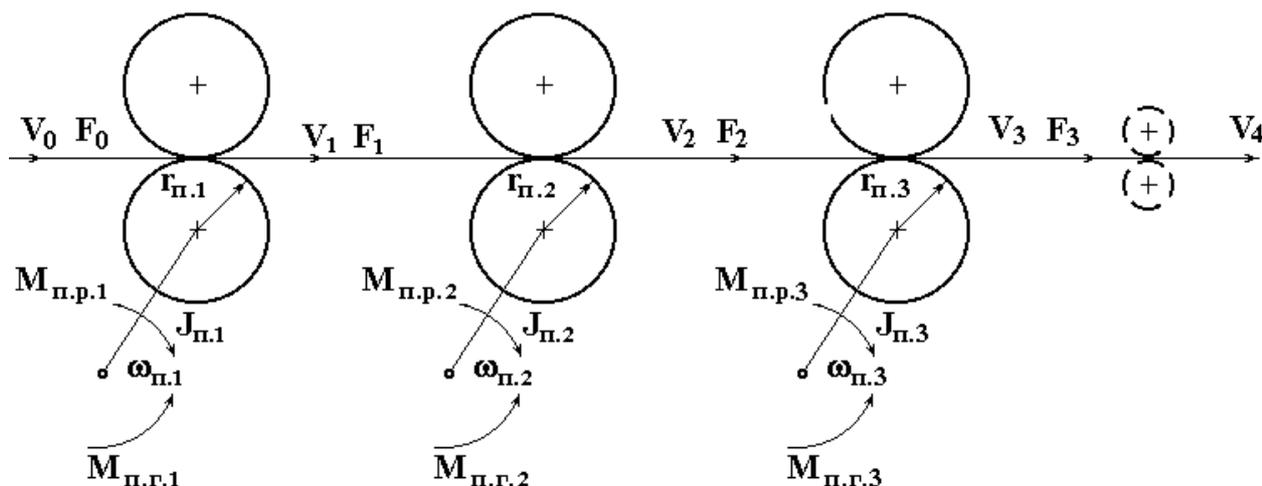


Рис. 1. Функціональна схема моделі трьох друкарських пар

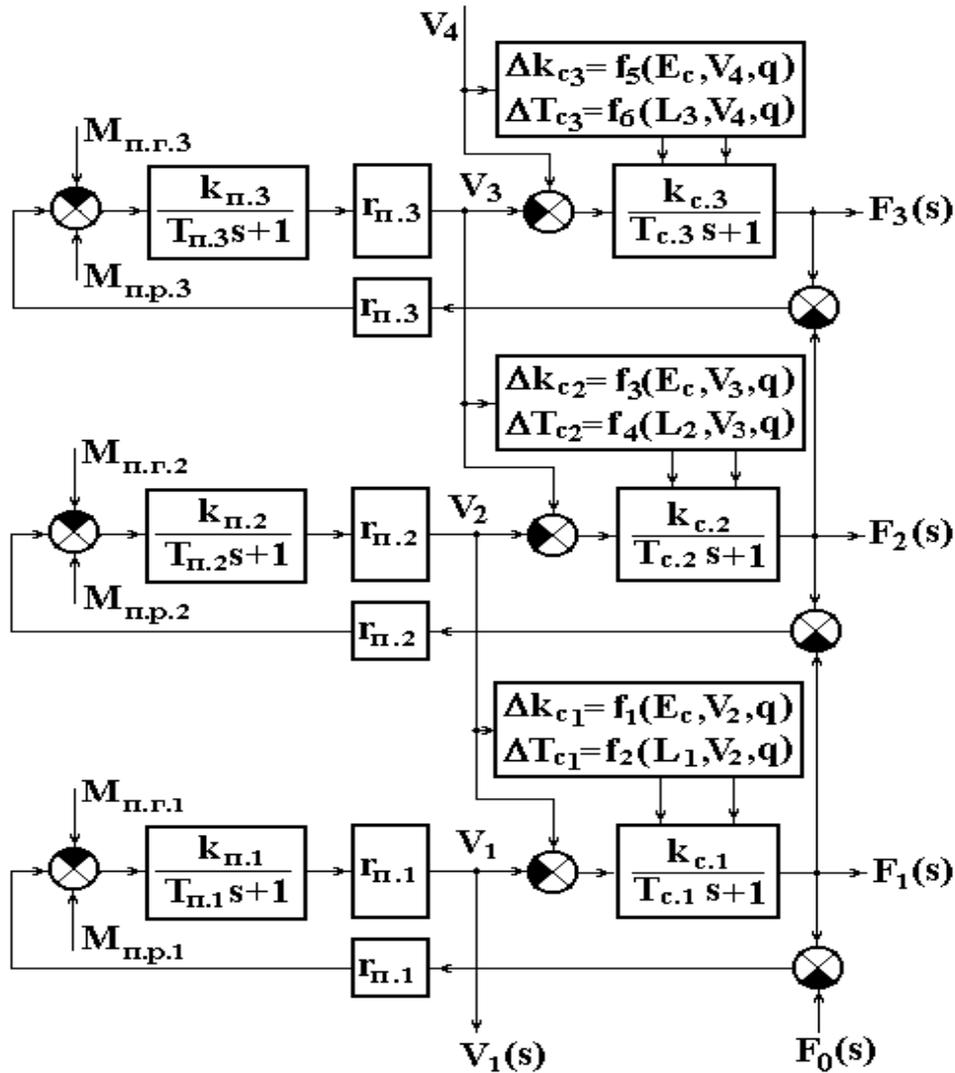


Рис. 2. Структурна схема нелінійної моделі трьох друкарських пар

Введемо позначення (на рис. 1 показана функціональна схема моделі): $M_{n.p.1}, M_{n.p.2}, M_{n.p.3}$ – рушійний момент, прикладений до друкарської пари, $M_{n.z.1}, M_{n.z.2}, M_{n.z.3}$ – момент статичного опору, який визначається натягом стрічки на попередній ділянці, $J_{n.1}, J_{n.2}, J_{n.3}$ – момент інерції обертових частин приводу і друкарської пари, приведений до вала друкарської пари, $\omega_{n.1}, \omega_{n.2}, \omega_{n.3}$ – швидкість обертання друкарської пари; $\alpha_{n.1}, \alpha_{n.2}, \alpha_{n.3}$ – коефіцієнти, що враховують сили тертя в механічній системі приводу і технологічні навантаження.

Враховуючи, що в системі існує зворотний зв'язок по силі натягу між окремими елементами, отримаємо на основі рис. 1 структурну схему моделі (рис. 2). На ній позначено: $k_{ni} = 1/\alpha_{ni}$, $T_{ni} = J_{ni}/\alpha_{ni}$ – коефіцієнт передачі та постійна часу друкарської пари;

$k_{c,i}, T_{c,i}$, – еквівалентний коефіцієнт передачі та постійна часу стрічкопровідної ділянки;
 L, E_c, q – довжина стрічкопровідної ділянки, модуль пружності стрічкового матеріалу та параметри технологічного процесу.

Запишемо відповідні передаточні функції окремих контурів.

$$\begin{aligned} W_{01} &= \frac{k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2}{(T_{n1}s+1)(T_{c1}s+1)}; W_{02} = \frac{k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2}{(T_{n2}s+1)(T_{c2}s+1)}; \\ W_{03} &= \frac{k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c3}s+1)}; W_{04} = \frac{k_{n2}k_{c1}r_{n2}^2}{(T_{n2}s+1)(T_{c1}s+1)}; \\ W_{05} &= \frac{k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c2}s+1)}. \end{aligned} \quad (1)$$

Згідно із структурною схемою (рис. 2) запишемо визначник системи:

$$\begin{aligned} \Delta(s) &= 1 + \frac{k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2}{(T_{n1}s+1)(T_{c1}s+1)} + \frac{k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2}{(T_{n2}s+1)(T_{c2}s+1)} + \frac{k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c3}s+1)} + \\ &+ \frac{k_{n2}k_{c1}r_{n2}^2}{(T_{n2}s+1)(T_{c1}s+1)} + \frac{k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c2}s+1)} + \frac{k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2}{(T_{n1}s+1)(T_{c1}s+1)} \times \\ &\times \frac{k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2}{(T_{n2}s+1)(T_{c2}s+1)} + \frac{k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2}{(T_{n1}s+1)(T_{c1}s+1)} \times \frac{k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c3}s+1)} + \\ &+ \frac{k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2}{(T_{n2}s+1)(T_{c2}s+1)} \times \frac{k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c3}s+1)} + \frac{k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2}{(T_{n1}s+1)(T_{c1}s+1)} \times \\ &\times \frac{k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c2}s+1)} + \frac{k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c3}s+1)} \times \frac{k_{n2}k_{c1}r_{n2}^2}{(T_{n2}s+1)(T_{c1}s+1)} + \\ &+ \frac{k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2}{(T_{n1}s+1)(T_{c1}s+1)} \times \frac{k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2}{(T_{n2}s+1)(T_{c2}s+1)} \times \frac{k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2}{(T_{n3}s+1)(T_{c3}s+1)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Користуючись (2), знайдемо залежності натягу F_1 від моментів, що прикладаються до відповідних стрічковедучих пар в усталеному режимі. Для натягу F_1 від моменту M_1 :

$$\frac{F_1}{M_1} = \frac{k_{n1}r_{n1}k_{c1}(1 + k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2 + k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2 + k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2 + k_{n2}k_{c3}r_{n2}^2 \times k_{n2}k_{c3}r_{n3}^2)}{a_0}, \quad (3)$$

де

$$\begin{aligned} a_0 &= 1 + k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2 + k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2 + k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2 + k_{n2}k_{c1}r_{n2}^2 + k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2 + \\ &+ k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2 \times k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2 + k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2 \times k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2 + k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2 \times k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2 + \\ &+ k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2 \times k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2 + k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2 \times k_{n2}k_{c1}r_{n2}^2 + \\ &+ k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2 \times k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2 \times k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2. \end{aligned}$$

Для натягу F_1 від моменту M_2 :

$$\frac{F_1}{M_2} = \frac{k_{n2}r_{n2}k_{c1}(1+k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2+k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2)}{a_0}. \quad (4)$$

Залежність між натягом на першій ділянці F_1 і моментом M_3 , що прикладається до третьої стрічковедучої пари:

$$\frac{F_1}{M_3} = \frac{k_{c1}k_{c2}r_{n2}k_{n3}r_{n2}^2r_{n3}}{a_0}. \quad (5)$$

В усталеному режимі для підтримки стабільного натягу на першій ділянці необхідно виконати умову $M_1=M_2+M_3$. Тоді з (3)–(5) визначимо розподіл моментів, які прикладаються до друкарських пар, що слід враховувати при проектуванні багатофарбових друкарських машин

$$F_1 = -k_{n1}r_{n1}k_{c1} \times \\ \times \frac{1+k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2+k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2+k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2+k_{n2}k_{c3}r_{n2}^2k_{n2}k_{c3}r_{n3}^2}{a_0} \times M_1 + \\ + \frac{k_{n2}r_{n2}k_{c1}(1+k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2+k_{n3}k_{c2}r_{n3}^2)}{a_0} \times M_2 + \frac{k_{c1}k_{c2}r_{n2}k_{n3}r_{n2}^2r_{n3}}{a_0} \times M_3.$$

Аналогічно визначимо залежності зміни натягу F_2 на ділянці, що знаходиться між другою і третьою друкарською парою від рушійних і гальмових моментів, що прикладаються до друкарських пар.

$$\frac{F_2}{M_1} = \frac{k_{n1}r_{n1}k_{c1}k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2(1+k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2)}{a_0}; \quad (6)$$

$$\frac{F_2}{M_2} = \frac{k_{n2}r_{n2}k_{c2}(1+k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2+k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2+k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2)}{a_0}; \quad (7)$$

$$\frac{F_2}{M_3} = \frac{k_{n3}r_{n3}k_{c3}(1+k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2+k_{n2}k_{c1}r_{n2}^2)}{a_0}. \quad (8)$$

Визначимо розподіл моментів (6)–(8), які необхідно прикласти до стрічковедучих пар при умові $M_1+M_2=M_3$, що необхідно для забезпечення стабільного зусилля натягу на другій ділянці:

$$F_2 = -\frac{k_{n1}r_{n1}k_{c1}k_{n2}k_{c2}r_{n2}^2(1+k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2)}{a_0} \times M_1 - \\ - \frac{k_{n2}r_{n2}k_{c2}(1+k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2+k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2+k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2k_{n3}k_{c3}r_{n3}^2)}{a_0} \times M_2 + \\ + \frac{k_{n3}r_{n3}k_{c3}(1+k_{n1}k_{c1}r_{n1}^2+k_{n2}k_{c1}r_{n2}^2)}{a_0} \times M_3. \quad (9)$$

Аналогічно можна отримати статичні коефіцієнти зміни приростів натягу окремих ділянок.

Аналізуючи отримані вирази, приходимо до висновку, що при зміні моменту на вході M_1 системи зміни приростів натягу на першій, другій і третій міжсекційній ділянці зменшується залежно від відповідних статичних коефіцієнтів зміни натягу. Це засвідчує те, що найбільша складова зміни натягу, а отже, видовження стрічки, за умови збурень на попередній секції, припадає на першу ділянку і розповсюджується на другу і наступні ділянки залежно від відповідних статичних коефіцієнтів зміни натягу. Зазначимо також, що із збільшенням кількості стрічкопровідних ділянок зв'язки між приростами натягів суміжних секцій зростають у бік переміщення оброблюваного стрічкового матеріалу. Коефіцієнт зменшення взаємозв'язку можна визначити із виразів (3)–(9).

Математичне моделювання системи і висновки

Враховуючи тенденцію зростання швидкості рулонних друкарських машин, вивчення поведінки стрічкового матеріалу становить інтерес для дослідження динаміки його проведення через технологічні секції, оскільки стрічка є нелінійним об'єктом керування із змінними в часі властивостями і характеристиками, які необхідно знати при розробці і вдосконаленні стрічкопереробних систем.

Таке дослідження здійснено комп'ютерною симуляцією для типових параметрів стрічкопровідної системи і друкарських пар в системі MATLAB (рис. 3).

Основні результати моделювання – ЛАЧХ, імпульсна характеристика системи, зміни натягу від швидкості при варіації параметрів друкарської пари T_n та стрічки k_c показані на рис. 4.1–4.3.

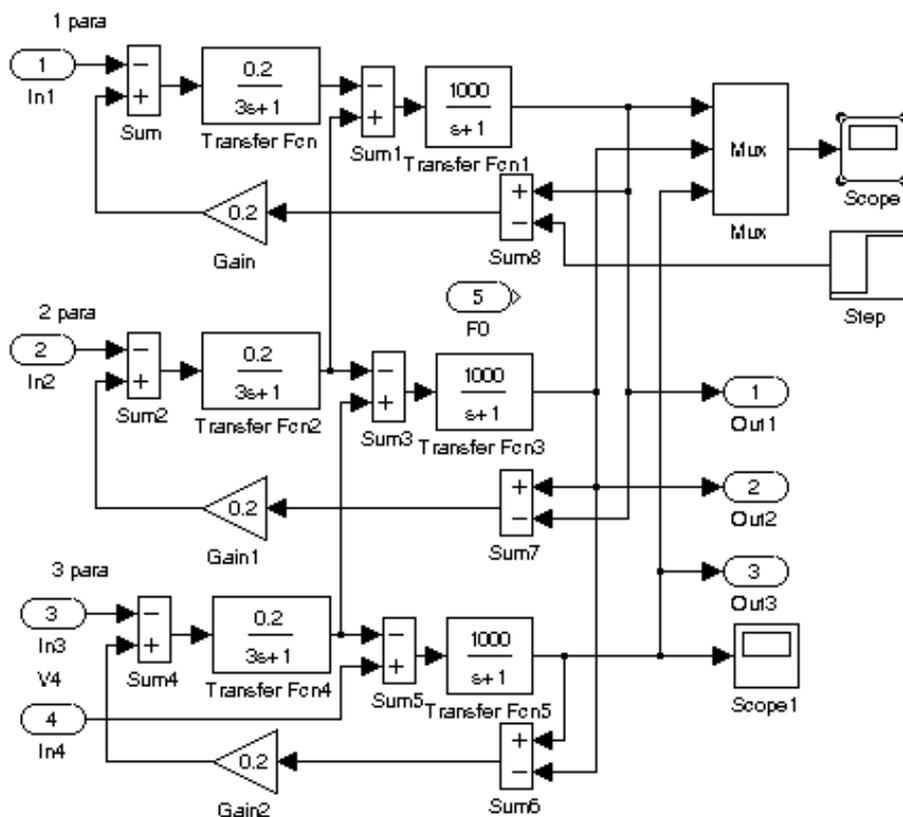


Рис. 3. Схема моделювання системи в SIMULINK

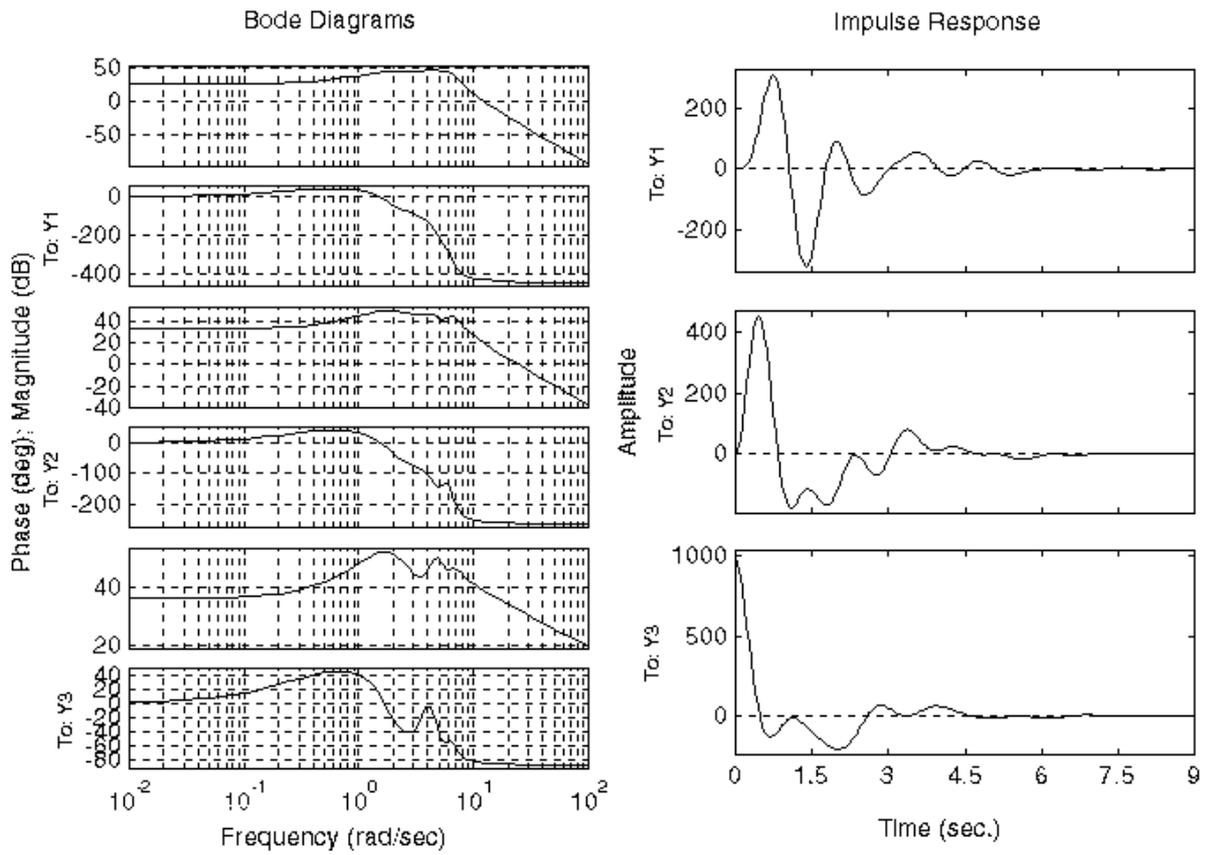


Рис. 4.1. Діаграма Бодє та імпульсна характеристика системи трьох друкарських пар

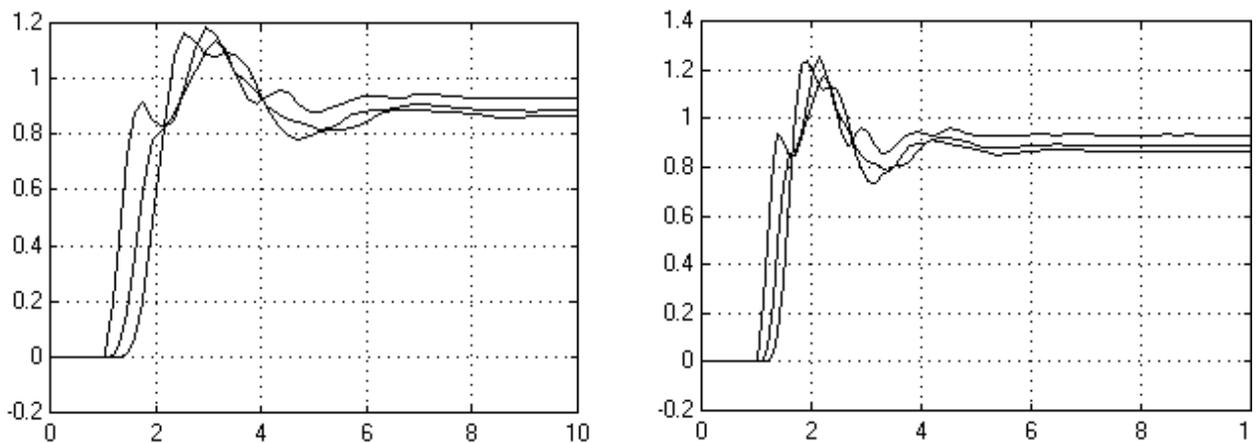


Рис. 4.2. Залежність $F_1, F_2, F_3 = f(M_{n,z,1})$ при $T_n=3$ с і 1 с

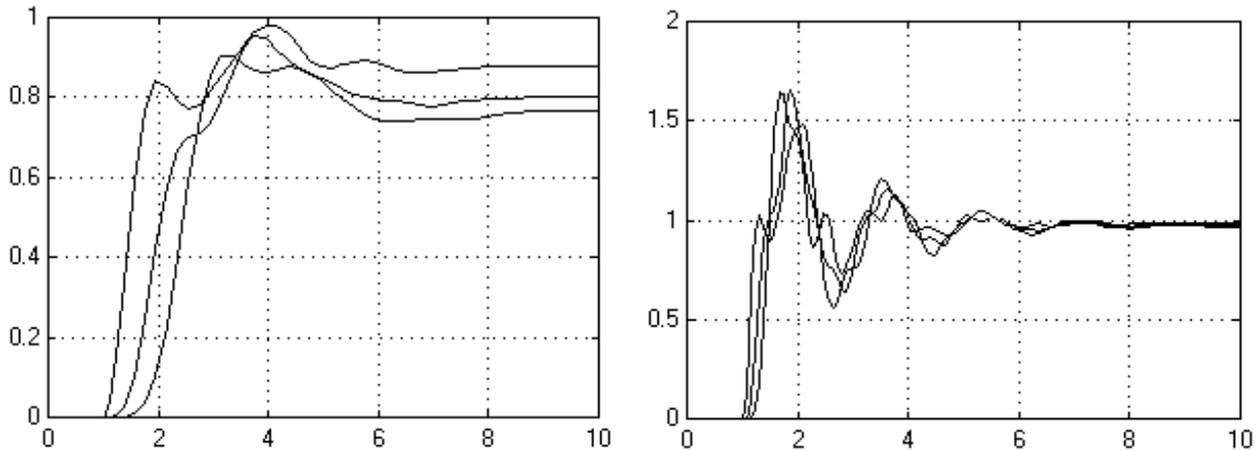


Рис. 4.3. Залежність $F_1, F_2, F_3 = f(M_{n.z.1})$ при $k_c=1000$ і 5000

Результати моделювання адекватно відображають поведінку системи в реальних промислових умовах. За їх результатами можна дати рекомендації щодо конструкції друкарських пар і схеми проведення стрічки для мінімізації змін натягу перероблюваного матеріалу і забезпечення випуску якісної друкованої продукції.

1. Стрепко І.Т., Тимченко О.В., Дурняк Б.В. Проектування систем керування на однокристальних мікро-ЕОМ. - К.: Фенікс, 1998. - 286 с. 2. Дурняк Б.В. Математичні моделі елементів стрічкопровідної системи рулонних друкарських машин // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. УНТЗ. 1998. Вип. 33. – С.67–74. 3. Дурняк Б.В. Система автоматичного регулювання натягу прямої дії флексографської друкарської машини // Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. - 1999. – Вип. 380. – С.72–76. 4. Дурняк Б.В. Моделі систем регулювання натягу стрічки при намотуванні на два вали з регулюванням за струмом якоря в рулонних друкарських машинах // Моделювання та інформаційні технології. – 1999. – Вип.2. – С.100–109.