

УДК 378.14

Л.Б. Курцева, А.О. Власов

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

АНАЛОГОВА ДВОХМАСОВА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ І НАТЯГОМ БАГАТОДВИГУНОВИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПАПІРООБМОТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ З УРАХУВАННЯМ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Проведені дослідження динамічних характеристик аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвиговим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів на приводний та гальмувальний механізми.

Ключові слова: папірообмотувальна машина, двохмасова система управління, приводний механізм, гальмівний механізм, рівняння стану, перехідний процес, динамічні характеристики.

Вступ

Постановка проблеми. Побудова динамічних характеристик аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвиговим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів є актуальною проблемою сьогодення.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У міру розвитку технології кабельного виробництва удосконалювалися методи оптимізації технологічних процесів. Паралельно проводилися наукові дослідження в області математичного моделювання кабельного процесу. Проте їх практичне використання відноситься тільки до початку 70-х рр. і пов'язане з успіхами в області обчислювальної техніки. Стали комерційно доступними пакети для моделювання і аналізу окремих стадій кабельного виробництва. Дані пакети знайшли застосування на Заході у фірмах – виготівниках устаткування для кабельного виробництва, полімерних матеріалів; різних дослідницьких центрах. У даній статті використовувався пакет прикладних програм Матлаб [4].

Метою статті є синтез математичної моделі та побудова динамічних характеристик аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвиговим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів.

Виклад основного матеріалу

Введений вектор стану аналогової двомасової системи управління з урахуванням пружних елементів, компонентами якого є наступні:

швидкість приводного двигуна $V_d(t)$,
 сила пружності $F_y(t)$,
 швидкість приводного механізму $V_n(t)$,
 швидкість зміни сили гальмувального механізму $V_m(t)$,
 сила гальмувального механізму $F_m(t)$,
 швидкість з ходу стрічки з кружка $V_c(t)$ і натягу стрічки $S(t)$.

$$\bar{X}(t) = \begin{Bmatrix} V_d(t), F_y(t), V_n(t), V_m(t), \\ F_m(t), V_c(t), S(t) \end{Bmatrix}^T. \quad (1)$$

Введений вектор управління, компонентами якого є сила приводного двигуна $F_d(t)$ і напруга на гальмувальному двигуні $U_m(t)$.

$$\bar{U}(t) = \{F_d(t), U_m(t)\}^T. \quad (2)$$

Для побудови динамічних характеристик аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвиговим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів складена система диференціальних рівнянь сьомого порядку [1].

По диференційним рівнянням (3) аналогової двомасової системи управління з урахуванням пружних елементів побудована алгоритмічна схема за допомогою пакету прикладних програм Матлаб [4], яка показана на рис. 1.

Тоді рівняння стану (3) у векторно-матричній формі приймуть вигляд (4).

$$\begin{aligned} \frac{dV_d(t)}{dt} &= \beta_m \frac{1}{m_d} V_d(t) - \frac{1}{m_d} F_y(t) - \beta_m \frac{1}{m_d} V_n(t) + \frac{1}{m_d} F_d(t); & \frac{dV_T(t)}{dt} &= -K_5 V_T(t) - K_6 F_T(t) + K_4 U_T(t); \\ \frac{dV_n(t)}{dt} &= \beta_c^* \frac{R_n^2}{I_n} V_d(t) + \beta_c^* \frac{1}{I_n} F_y(t) - (\beta_c^* R_n^2 + \beta_n^*) \frac{1}{I_n} V_n(t) - \frac{\lambda_n^2}{I_n} S(t); & \frac{dF_y(t)}{dt} &= C_T V_d(t) - C_T V_n(t); \\ \frac{dF_T(t)}{dt} &= V_T(t); & \frac{dV_c(t)}{dt} &= -\frac{R_T^2}{I_c} F_T(t) - \beta_c^* \frac{1}{I_c} V_c(t) + \frac{r_{cc}^2}{I_c} S(t); & \frac{dS(t)}{dt} &= C_s (V_n(t) - V_c(t)). \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{V}_d \\ \dot{F}_y \\ \dot{V}_n \\ \dot{V}_t \\ \dot{F}_t \\ \dot{V}_c \\ \dot{S} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\beta_m}{m_d} & -\frac{1}{m_d} & \frac{\beta_m}{m_d} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_m & 0 & -C_m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta_m R_n^2}{I_n} & \frac{R_n^2}{I_n} & -\left(\frac{\beta_m R_n^2}{I_n} + \frac{\beta_n^*}{I_n}\right) & 0 & 0 & 0 & -\frac{\lambda_n^2}{I_n} \\ 0 & 0 & 0 & -K_5 & -K_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\left(\frac{R_t^2}{I_c}\right) & -\frac{\beta_c^*}{I_c} & \frac{r_{cc}^2}{I_c} \\ 0 & 0 & C_s & 0 & 0 & -C_s & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{m_d} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & K_4 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

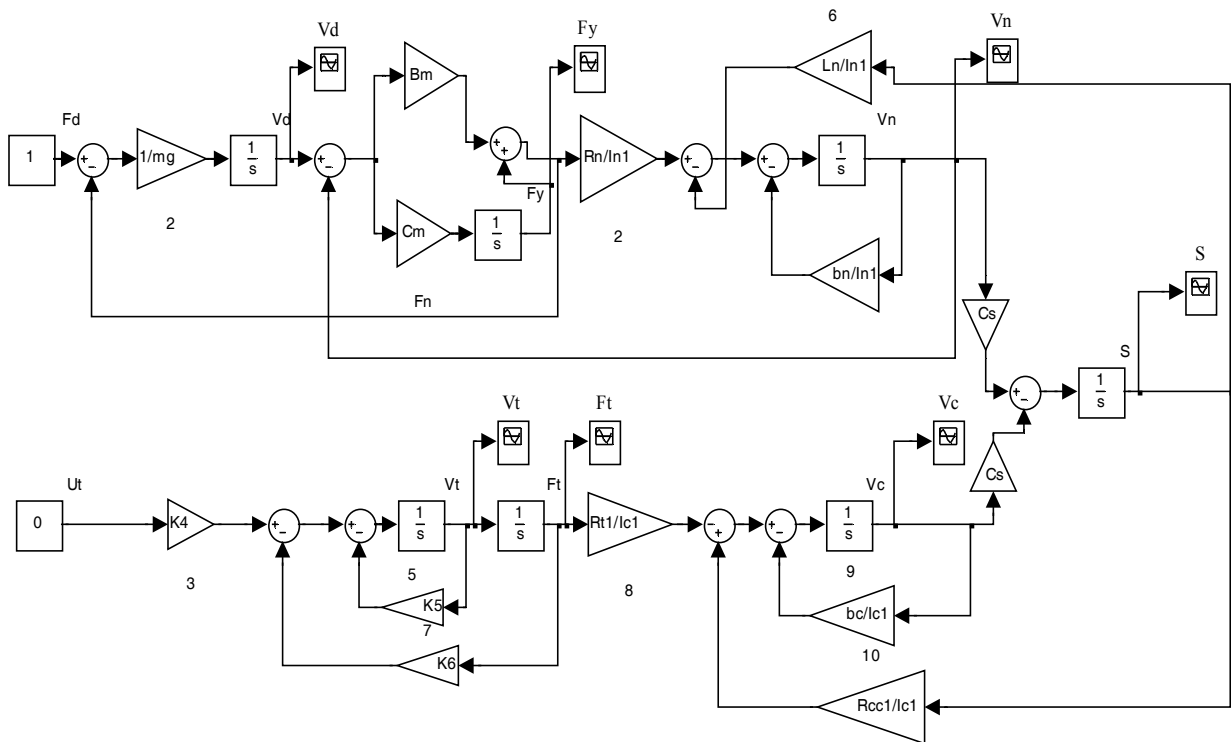


Рис. 1. Алгоритмічна схема аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів

Виконаний розрахунок динамічних характеристик для трьох радіусів розмотування з ходу кружка зі стрічки:

– для початкового радіусу розмотування при $r_n = 0,4\text{м}$ отримані матриці стану і управління (5):

$$A_1 = \begin{pmatrix} -0.4 & -3.5 \cdot 10^{-4} & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 \cdot 10^6 & 0 & -2 \cdot 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 1.7 \cdot 10^{-4} & -4.4 & 0 & 0 & 0 & -5.9 \cdot 10^{-2} \\ 0 & 0 & 0 & -10 & -100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -4 \cdot 10^{-2} & -5.6 \cdot 10^{-4} & 1 \cdot 10^{-1} \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & -100 & 0 \end{pmatrix}; \quad B_1 = \begin{pmatrix} 1.7 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 100 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad (5)$$

– полюси для початкового радіусу розмотування $r_n = 0,4\text{м}$ дорівнюють:

$$s_1 = -2.1172; \quad s_{2,3} = -1.054 \pm j32.1987; \\ s_{4,5} = -0.2877 \pm j3.5582; \quad s_{6,7} = -5.000 \pm j8.6603;$$

– для середнього радіусу розмотування при $r_c = 0,2594$ м матриці стану і управління (6):

$$A_2 = \begin{pmatrix} -0.4 & -3.5 \cdot 10^{-4} & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 \cdot 10^6 & 0 & -2 \cdot 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 1.9 \cdot 10^{-4} & -5 & 0 & 0 & 0 & -6.7 \cdot 10^{-2} \\ 0 & 0 & 0 & -10 & -100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -3.7 \cdot 10^{-2} & -8.6 \cdot 10^{-4} & 5.5 \cdot 10^{-2} \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & -100 & 0 \end{pmatrix}; \quad B_2 = \begin{pmatrix} 1.7 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 100 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad (6)$$

– полюси системи для середнього радіусу розмотування $r_c = 0,2594$ м :

$$s_1 = -2.0683; \quad s_{2,3} = -1.2087 \pm j32.7952; \quad s_{4,5} = -0.4576 \pm j2.7826; \quad s_{6,7} = -5.000 \pm j8.6603;$$

– для кінцевого радіусу розмотування при $r_n = 0,1$ м :

$$A_3 = \begin{pmatrix} -0.4 & -3.3 \cdot 10^{-4} & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 \cdot 10^6 & 0 & -2 \cdot 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 3.5 \cdot 10^{-4} & -5.6 & 0 & 0 & 0 & -7.5 \cdot 10^{-2} \\ 0 & 0 & 0 & -10 & -100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -3.1 \cdot 10^{-3} & -1.1 \cdot 10^{-4} & 8 \cdot 10^{-3} \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & -100 & 0 \end{pmatrix}; \quad B_3 = \begin{pmatrix} 1.7 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 100 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad (7)$$

– полюси системи для кінцевого радіусу розмотування $r_c = 0,1$ м :

$$s_1 = -0.6194; \quad s_{2,3} = -1.7392 \pm j36.7986; \quad s_{4,5} = -0.9512 \pm j1.537; \quad s_{6,7} = -5.000 \pm j8.6603.$$

По алгоритмічні схемі побудовані динамічні характеристики аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів на приводний механізм (рис. 2).

На графіках введені такі позначки:

- 1 – при початковому радіусі розмотування r_n ;
- 2 – при середньому радіусі розмотування $r_{сер}$;
- 3 – при кінцевому радіусі розмотування r_k .

На рис. 2, а представлені динамічні характеристики швидкості двигуна, де в перші моменти часу спостерігаються високочастотні коливання, які накладені на порівняно низькочастотні зміни швидкості приводного механізму.

На рис. 2, б показані динамічні характеристики сили пружності.

Стале значення сили пружності рівне силі приводного механізму. У перехідному процесі спостерігаються високочастотні коливання, викликані наявністю пружних елементів.

Динамічні характеристики швидкості приводного механізму (рис. 3, в), схожі на перехідні процеси швидкості двигуна рис. 2, а.

При подачі управління на приводний механізм зміни стану: швидкість зміни гальмувальної сили – $V_T = 0$ (рис. 2, г і гальмувальної сили $F_T = 0$ (рис. 2, д) рівні нулю, так як ці зміни стану змінюються тільки при зміні завдання $U_T(t)$ на гальмувальний механізм.

На рис. 2, е показані графіки динамічних характеристик швидкості з ходу стрічки з кружка.

У цих процесах не виявляється вплив пружних елементів і відсутні високочастотні коливання. На рис. 2, ж показані перехідні процеси зміни натягу. У початковий момент часу натяг збільшується, оскільки за рахунок збільшення натягу відбувається збільшення швидкості обертання кружка із стрічкою. Стале значення натягу рівне нулю [1].

На рис. 3 показані графіки динамічних характеристик аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів на гальмувальний механізм.

На рис. 3, б показані перехідні процеси сили пружності. У початковий момент часу спостерігається збільшення сили пружності, а потім сила пружності повертається знов до нульового значення.

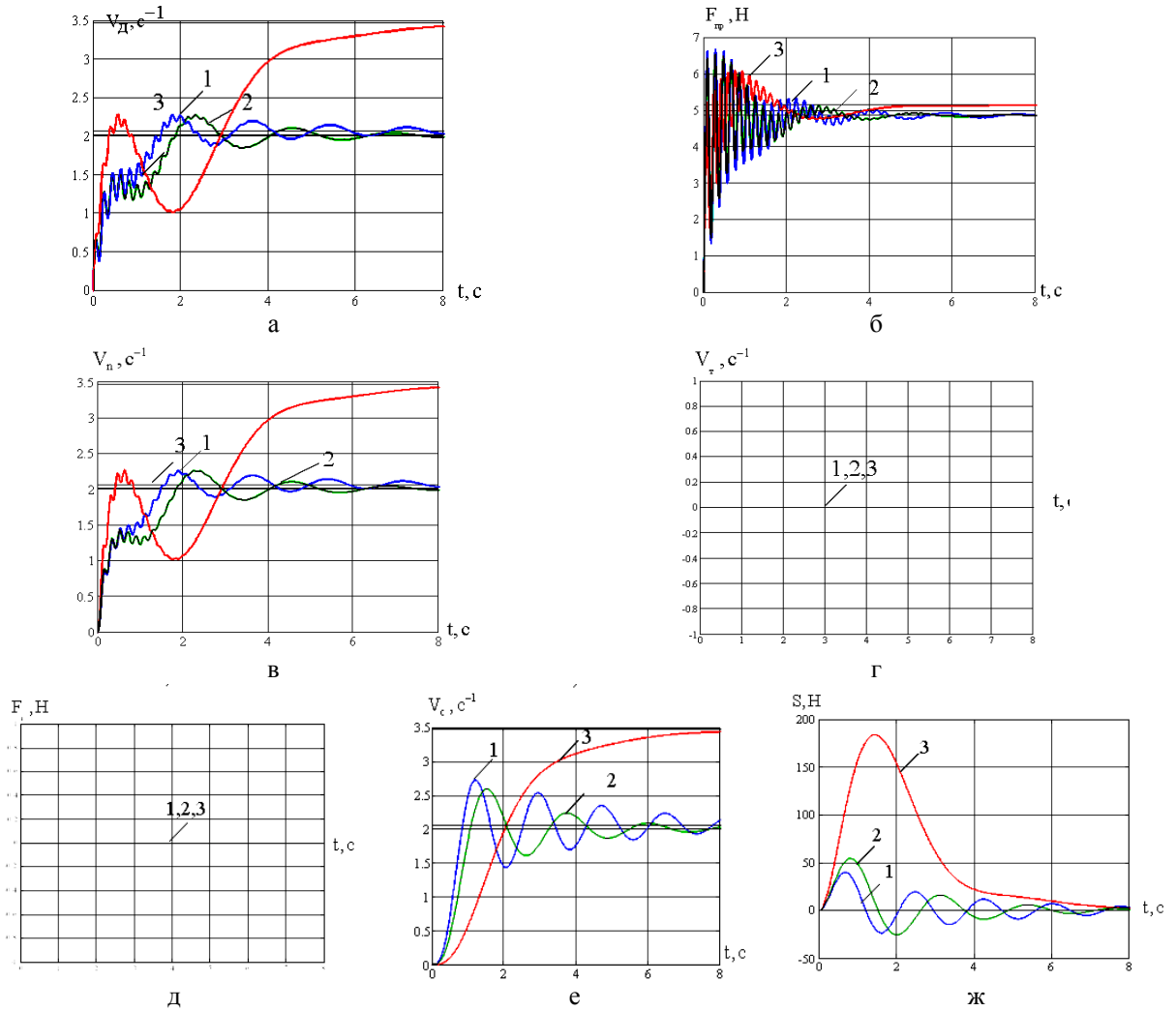
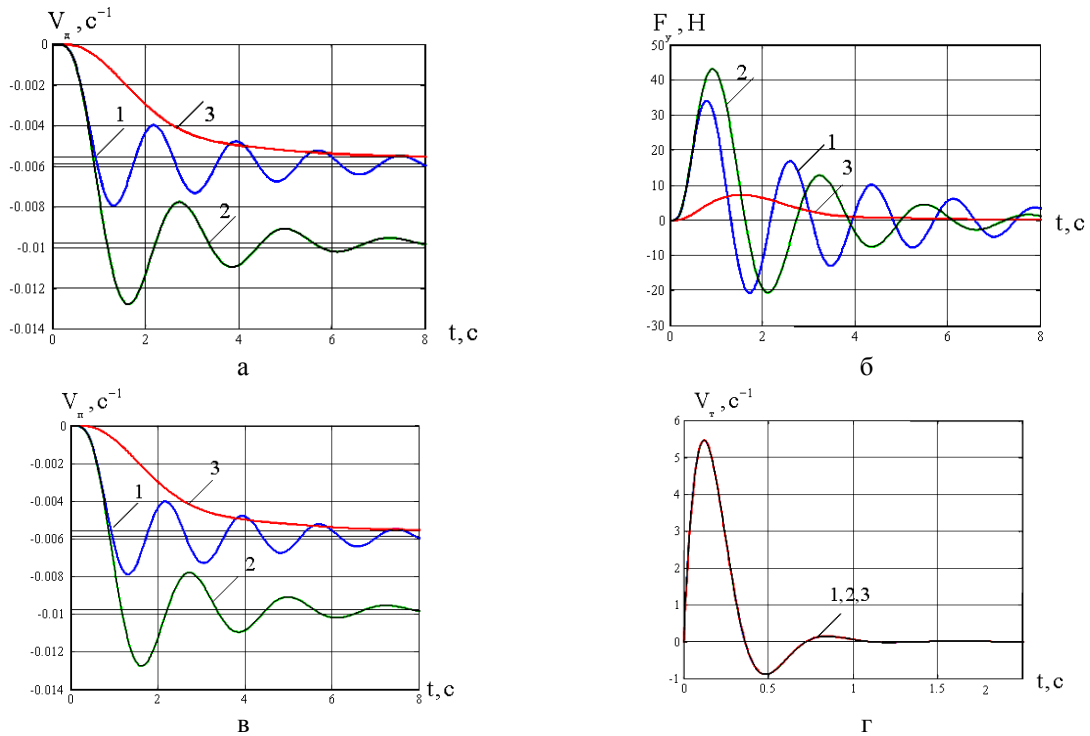


Рис. 2. Динамічні характеристики аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів на приводний механізм



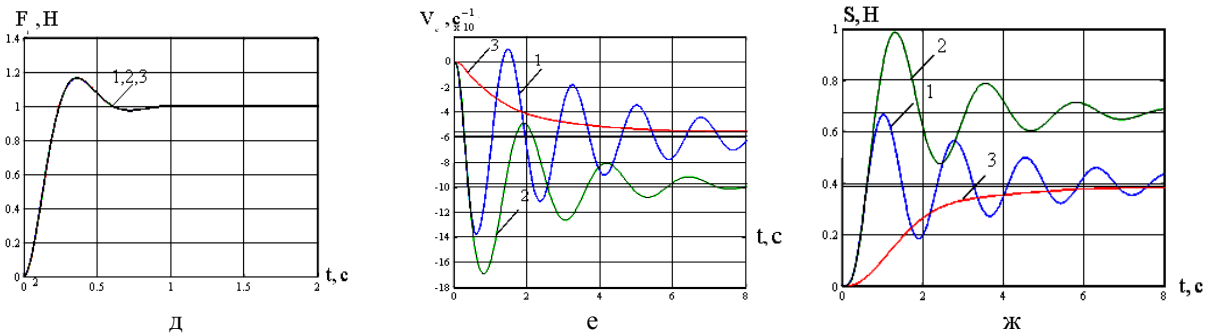


Рис. 3. Динамічні характеристики аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів на гальмувальний механізм

Висновки

Виконаний синтез математичної моделі та побудовані динамічні характеристики аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів. Проведений розрахунок динамічних характеристик аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів за напругою на приводний та гальмувальний механізми.

Динамічні характеристики при початковому радіусі розмотування r_1 і середньому радіусі розмотування коливальні; а перехідні процеси при кінцевому радіусі розмотування – аперіодичні, але в перші моменти часу спостерігається провал з високочастотними коливаннями. Час перехідного процесу складає приблизно від 4с до 8 с.

При зміні радіусу розмотування просадка швидкості (стале значення) пропорційна радіусу розмотування. Це відбувається за рахунок того, що при однаковому гальмувальному моменту потрібний різний момент опору кружка стрічки з різним радіусом.

В перспективі доцільно побудувати динамічні характеристики оптимальної аналогової двохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини з урахуванням пружних елементів.

Список літератури

1. Кузнецов Б.И. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, В.В. Коломиец. – Х.: УИПА, 2005. – 512 с.
2. Багатодвигуновий електропривод папірообмотувальної машини. / Б.І. Кузнецов, Л.Б. Курцева, О.В. Кушнаренко, С.М. Лутай. – Україна, Патент на корисну модель UA № 71098, МПК H02P 5/46(2006.01). Номер заявки и 2011 11418, заявл. 27.09.2011. Публ. 10.07.2012, Бюл. № 13.
3. Трьохмасова система управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим електроприводом папірообмотувальної машини / Б.І. Кузнецов, Л.Б. Курцева, О.М. Пономаренко, М.В. Лучані нова // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – № 9 (116). – С. 41-45.
4. Control System MATLAB 5 для студентов / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999. – 287 с.

Надійшла до редколегії 15.04.2015

Рецензент: канд. техн. наук, проф. каф. С.В. Хуторненко, Українська інженерно – педагогічна академія, Харків.

АНАЛОГОВАЯ ДВУХМАСОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ И НАТЯЖЕНИЕМ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ БУМАГООБМОТочНОЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Л.Б. Курцева, А.А. Власов

Выполнен синтез математической модели и построены динамические характеристики аналоговой двухмассовой системы управления скоростью вращения и натяжением многодвигательным электроприводом бумагообмоточной машины с учетом упругих элементов. Проведенный расчет динамических характеристик аналоговой двухмассовой системы управления скоростью вращения и натяжением многодвигательных электроприводом бумагообмоточной машины с учетом упругих элементов с напряжением на приводной и тормозной механизмы.

Ключевые слова: бумагообмоточная машина, двухмассовая система управления, приводной механизм, тормозной механизм, уравнение состояния, переходный процесс, динамические характеристики.

ANALOG TWOMASS CONTROL THE SYSTEM BY SPEED OF ROTATION AND PULL MULTIMOTIVE ELECTRIC DRIVE OF PAPER-LAPPING MACHINE TAKING INTO ACCOUNT RESILIENT ELEMENTS

L.B. Kurceva, A.A. Vlasov

The synthesis of mathematical model is executed and dynamic descriptions of analog twomass control the system by speed of rotation and pull of of paper-lapping machine multimotive electric drive are built taking into account resilient elements. Conducted calculation of dynamic descriptions of analog twomass control the system by speed of rotation and pull multimotive electric drive of paper-lapping machine taking into account resilient elements with tension on drive and brake mechanisms.

Keywords: paper-lapping machine, twomass control the system, drive mechanism, brake mechanism, equalization of the state, transitional process, dynamic descriptions.