

Запорожский национальный технический университет

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫМИ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ**

Разработаны системы оптимального управления скоростью клети и натяжением прокатываемой полосы, учитывающие переменные технологические параметры. Исследованы их свойства с помощью комплекса взаимосвязанных многомерных моделей электромеханического оборудования станков холодной прокатки.

Розроблені системи оптимального керування швидкістю кліті і натягом смуги, що прокатується, які враховують змінні технологічні параметри. Досліджені їх властивості за допомогою комплексу взаємопов'язаних багатовимірних моделей електромеханічного обладнання станів холодної прокатки.

The optimal control systems of speed and strip tension of cold rolling mill are developed, taking into account variable technology parameters. Electromechanical processes are obtained using complex of interconnected multidimensional models of electromechanical equipment of cold rolling mill.

Развитие теории оптимального управления связано с ростом требований точности воспроизведения желаемых траекторий движения, быстродействия, запаса устойчивости, отсутствия перерегулирования в переходных режимах, технологичности изготовления и обслуживания. Построение систем регулирования высокой точности привело к необходимости учета при синтезе регуляторов взаимовлияния отдельных каналов системы и переменных параметров [2,6]. Одним из основных требований к системе управления электропривода прокатного стана является обеспечение транспортировки полосы с заданной скоростью и поддержанием заданного натяжения [3].

Объектом управления является электропривод клети с электроприводом моталки, связанные прокатываемой полосой металла.

На основании систем уравнений, описывающих двухмассовую систему с упругостями первого и второго рода [1] (приводной двигатель М1 – длинный вал – наматывающий механизм – прокатываемая полоса), запишем систему уравнений в поэлементной форме

$$\left\{ \begin{array}{l} pFc = C_p R_1 \omega_3 - C_p R_2 \omega_4 - \frac{F_c R_2 \omega_4}{L}; \\ p\omega_3 = \frac{1}{J_M} M_{13} + \frac{b_1(\omega_1 - \omega_3)}{J_M} - \frac{F_c R_1}{J_M} - \frac{k_{f3} \omega_3}{J_M}; \\ pM_{13} = C_1(\omega_1 - \omega_3); \\ p\omega_1 = \frac{1}{J_{d1} i_{p1}} M_{d1} - \frac{1}{J_{d1}} M_{13} - \frac{k_{f1}}{J_{d1}} \omega_1; \\ pM_{d1} = \frac{C\Phi_1}{R_{d1} T_{d1}} U_{d1} - \frac{1}{T_{d1}} M_{d1} - \frac{(C\Phi_1)^2}{R_{d1} T_{d1} i_{p1}} \omega_1; \\ pU_{d1} = \frac{k_{B1}}{T_{\mu 1}} U_y - \frac{1}{T_{\mu 1}} U_{d1}; \end{array} \right. \quad (1)$$

и систему уравнений в поэлементной форме применительно к двухмассовому объекту управления (приводной двигатель М2 – длинный вал – прокатная клеть) [1]

$$\left\{ \begin{array}{l} p\varphi_4 = \omega_4; \\ p\omega_4 = -\frac{M_4}{J_{kl}} + \frac{C_2(\varphi_2 - \varphi_4)}{J_{kl}} + \frac{b_2(\omega_2 - \omega_4)}{J_{kl}} - \frac{k_{f4} \omega_4}{J_{kl}}; \\ p\varphi_2 = \omega_2; \\ p\omega_2 = \frac{M_{d2}}{J_{d2} i_{p2}} - \frac{C_2(\varphi_2 - \varphi_4)}{J_{d2}} - \frac{b_2(\omega_2 - \omega_4)}{J_{d2}} - \frac{k_{f2} \omega_2}{J_{d2}}; \\ pM_{d2} = -\frac{1}{T_{d2}} M_{d2} - \frac{(C\Phi_2)^2}{R_{d2} T_{d2} i_{p2}} \omega_2 + \frac{C\Phi_2}{R_{d2} T_{d2}} U_{d2}; \\ pU_{d2} = -\frac{1}{T_{\mu 2}} U_{d2} + \frac{k_{B2}}{T_{\mu 2}} U_y, \end{array} \right. \quad (2)$$

где ω_1, ω_3 и ω_2, ω_4 – угловые скорости торцов шпинделя электроприводов моталки и клети; φ_2, φ_4 – углы закручивания торцов шпинделя электропривода клети; J_M, J_{kl} – моменты инерции моталки и клети; M_{13} – упругий момент; b_1, b_2 – коэффициенты внутреннего демпфирования; C_1, C_2 – жесткости шпинделей; C_p, F_c – жесткость и сила натяжения прокатываемой полосы; L – расстояние между осями вращающихся механизмов; R_1 – радиус рулона; R_2 – радиус вала клети; M_{d1}, M_{d2} и J_{d1}, J_{d2} – электромагнитные моменты и моменты инерции приводных двигателей моталки и клети; $k_{f1}, k_{f2}, k_{f3}, k_{f4}$ – коэффициенты вязкого трения; U_{d1}, U_{d2} и U_{y1}, U_{y2} – напряжения на выходе и входе преобразователей соответственно; i_{p1}, i_{p2} – передаточные числа редукторов; T_{d1}, T_{d2} – электромагнитные постоянные времени электроприводов; R_{d1}, R_{d2} – сопротивления якорных цепей; $C\Phi_1, C\Phi_2$ – конструктивные коэффициенты электродвигателей; $T_{\mu 1}, T_{\mu 2}$ и k_{B1}, k_{B2} – постоянные времени и коэффициенты усиления управляемых преобразователей; M_4 – момент нагрузки.

В качестве критерия оптимальности системы управления скоростью вращения валков клети принят интегральный квадратичный функционал, который минимизируется оптимальным управлением [5, 6]

$$U_y = U_{y \max} \text{sat} \left(\frac{v_{06}}{p} + v_{26} \right) (\omega_4^* - \omega_4) - v_{16} \varphi_4 - v_{36} \varphi_2 - v_{46} \omega_2 - v_{56} I_{d2} - v_{66} U_{d2}. \quad (3)$$

Для системы (1) качество управления задано функционалом Летова, экстремальное значение которого доставляет оптимальное управление

$$U_y = U_{y\max} \text{sat} \frac{g}{m_6} \left(\frac{\gamma_{06}}{p} + \gamma_{16} \right) (F_C^* - F_C) - \gamma_{26} p F_C - \gamma_{36} p \omega_3 - \gamma_{46} (\omega_1 - \omega_3) - \gamma_{56} p \omega_1 - \gamma_{66} p I_{d1}. \quad (4)$$

В коэффициенты алгоритма оптимального управления натяжением прокатываемой полосы входят переменные технологические параметры: угловая скорость валков клетки ω_4 и радиус рулона R_1 .

Используя четырехмассовую компьютерную модель (рис.1), состоящую из механизма прокатной клетки, моталки, двигателя постоянного тока, блоков, имитирующих упругие связи между двигателем и исполнительным механизмом, а также связь между механизмами через прокатываемую полосу металла [4], проведено моделирование с синтезированной системой оптимального управления (рис.2), при этом использованы данные оборудования дрессировочного одноклетевого стана 1700-1 цеха холодной прокатки №1 ОАО «Запорожсталь».

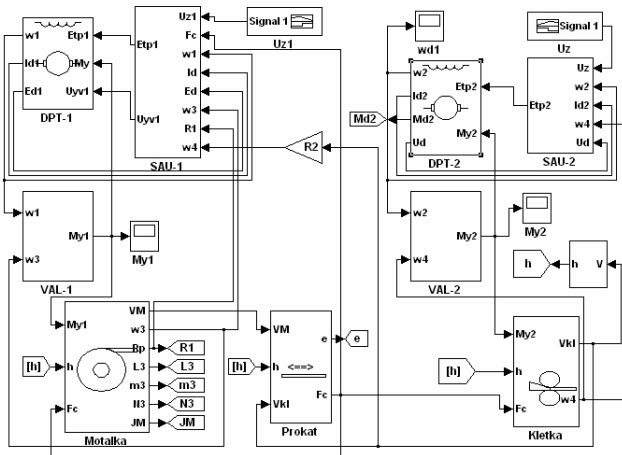


Рис.1. Модель взаимосвязанных электроприводов клетки и моталки

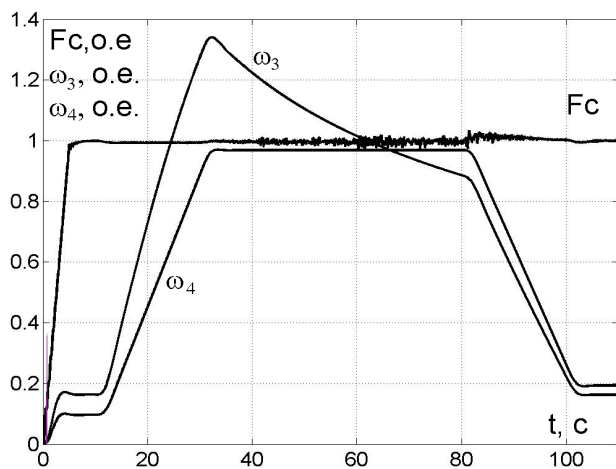


Рис.2. Переходные процессы синтезированной системы

Выводы. Анализируя приведенные результаты моделирования, можно сделать вывод, разработанная

система оптимального управления взаимосвязанными электроприводами стана холодной прокатки за счет полной наблюдаемости объекта управления, учета влияния переменных технологических параметров обеспечивает обработку задающего воздействия без перерегулирования и компенсирует влияние варьирования толщины полосы, упругостей шпинделя и полосы на динамику электроприводов.

Список использованной литературы

1. Борцов Ю. А. Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.
2. Герасимяк Р.П. Оптимальные системы автоматического управления электроприводов / Р.П. Герасимяк – Одесса: ОГПУ, 1998. – 72 с.
3. Лимонов Л. Г. Автоматизированный электропривод промышленных механизмов / Л. Г. Лимонов – Х.: ФОРТ, 2009. – 272 с.
4. Назарова О. С. Моделирование электромеханических процессов в прокатном оборудовании за допомогою бібліотеки підсистем / О. С. Назарова, В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок // Електроінформ, 2010. – № 2-3. – С. 22-24.
5. Садовой А. В. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами / А. В. Садовой, Б. В. Сухинин, Ю. В. Сохина – К.: ИСИМО, 1996. – 298 с.
6. Специальные разделы теории управления. Оптимальное управление динамическими системами: учеб. пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник. – Тамбов: Тамб. ГТУ, 2007. – 108 с.

Получено 01.07.2011



Назарова Елена Сергеевна,
аспирантка каф. ЭПА
Запорожского нац. технич. ун-та,
г. Запорожье, ул. Жуковского, 64
тел. (0612)7698313
E-mail: nazarova@zntu.edu.ua



Бондаренко Валерий
Иванович,
к.т.н., зав. каф. ЭПА
Запорожского нац.
технич. ун-та,
тел. (0612)7698432
E-mail: epa@zntu.edu.ua



Пирожок Андрей
Владимирович,
к.т.н., доцент каф. ЭПА
Запорожского нац.
технич. ун-та,
тел. (0612)7698313
E-mail: pirozhokav@gmail.com