

УДК 62-83 (075.8)

СИНТЕЗ ГЛАВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЧЕРНОВОЙ КЛЕТКИ С УЧЕТОМ УПРУГОСТИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

А. В. Холодюк, В. С. Коцюбинский

Донбасский государственный технический университет

просп. Metallургов, 33/42, г. Алчевск, 94201, Украина. E-mail: KholodyukA@yandex.ru

Исследование посвящено синтезу электромеханической системы с учетом упругости кинематической передачи, рассмотренному на примере главного электропривода черновой клетки стана 3000. Для компенсации упругости механической передачи авторы предлагают внедрить в систему корректирующее устройство, расчет которого представлен в данной работе.

Ключевые слова: упругость, кинематическая передача, колебания, корректирующее устройство, двухмассовая система, момент трения.

СИНТЕЗ ГОЛОВНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЧЕРНОВОЇ КЛІТИ З УРАХУВАННЯМ ПРУЖНОСТІ КІНЕМАТИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ

О. В. Холодюк, В. С. Коцюбинський

Донбаський державний технічний університет

просп. Металургів, 33/42, м. Алчевськ, 94201, Україна. E-mail: KholodyukA@yandex.ru

Дослідження присвячено синтезу електромеханічної системи з урахуванням пружності кінематичної передачі, який розглянуто на прикладі головного електроприводу чорнкової кліти стану 3000. Для компенсації пружності механічної передачі автори рекомендують упровадити в систему коригуючий пристрій, розрахунок якого надано в даній роботі.

Ключові слова: пружність, кінематична передача, коливання, коригуючий пристрій, двомасова система, момент тертя.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Вопрос качества выпускаемого проката всегда остро стоял в металлургическом производстве. Поэтому очень важно исследовать все факторы, оказывающие влияние на качество продукции, одним из которых является упругость кинематической передачи.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Материалами для построения и исследования системы являются параметры привода, взятые из рабочей документации, предоставленной проектной организацией. В результате работы, для улучшения качества работы систем автоматического управления (САУ), синтезирована модель регулятора.

Ранее рассматривалось движение жесткой механической системы, в которой для определения положения (фазовой координаты) любого элемента достаточно было знать закон движения какой-либо точки одного из элементов этой системы. Например, зная уравнение движения вала двигателя, можно легко определить уравнение движения вала рабочей машины, т.к. эти валы принимались жестко связанными между собой (люфты и упругое закручивание валов не учитывались).

В действительности все элементы механической системы электропривода обладают упругими свойствами, что в некоторых случаях определяет принципиальное отличие их движения от движения механической системы с жесткими связями. При резком изменении момента сопротивления движению на валу рабочей машины M_{CM} из-за упругости соединительного вала не будет такого же мгновенного изменения момента сопротивления движению M_C на конце гибкого вала, связанного с двигателем. Вначале произойдет закручивание упругого вала, причем это упругое закручивание будет происхо-

дит до тех пор, пока упругая деформация не достигнет величины, равной новому значению M_{CM} . Лишь после этого начнется изменение момента на валу двигателя M_C . Таким образом, при передаче меняющегося момента сопротивления движению от рабочей машины к двигателю имеется некоторое запаздывание, величина которого зависит от упругости соединительного вала. Поэтому в электроприводе могут возникать механические колебания, которые могут оказывать существенное негативное влияние на работу системы.

Для моделирования упрощенной схемы рациональной является запись дифференциальных уравнений движений каждого элемента схемы в отдельности, а также их взаимодействие между собой. Для двухмассовой системы можно записать следующие выражения [1]:

$$\left. \begin{aligned} M_1 - M_{C1} - M'_{12} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\ M_{12} - M_{C2} &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \\ M_{12} &= C_{12} \int (\omega_1 - \omega_2) dt = M_p; \\ M'_{12} &= M_{12} + \beta_{12} (\omega_1 - \omega_2) = M_p + M_{VT}, \end{aligned} \right\} (1)$$

где M_1 , M_{C1} , M_{C2} , M_p , M_{VT} — соответственно моменты двигателя, сопротивления на первой и второй массах, а также моменты упругого и вязкого трения в элементах связи; β_{12} — коэффициент вязкого трения, Нмс.

Структурная схема двухмассовой системы, построенная согласно выражениям 1, приведена на рис. 1.

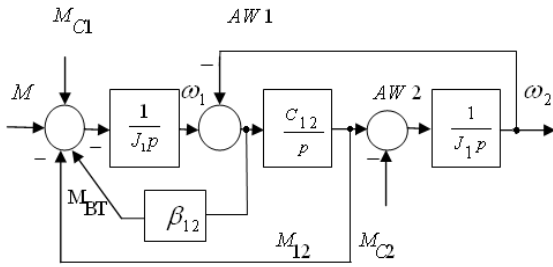


Рисунок 1 – Модель двухмассовой системы

Жесткость вала рассчитываем по выражению [2]:

$$C_{12} = \frac{G\pi d^4}{32L}, \text{ Нм} \quad (2)$$

где G – модуль упругости при сдвиге, Н/м^2 ; d – диаметр вала, м; L – длина вала, м.

Величина модуля упругости G определяется по выражению [3]

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad (3)$$

где $E=2,06 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ – модуль упругости при растяжении стали; $\nu=0,3$ – коэффициент Пуассона для стали.

В основе исследования лежит подчиненная система регулирования главного привода черновой клетки стана 3000, настроенная на модульный оптимум. Проведем моделирование с учетом упругости кинематической передачи, построенной согласно рис. 1.

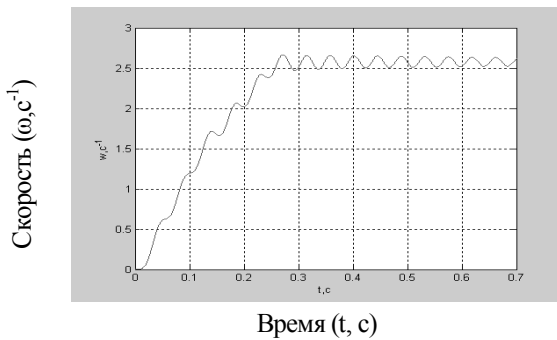


Рисунок 2 – Переходный процесс по скорости

Результаты моделирования с учетом упругих свойств вала указывают на возникновение в процессе работы системы механических колебаний с частотой около 22 Гц, малым декрементом затухания и максимальной амплитудой $0,2 \text{ с}^{-1}$, что составляет 7 % от номинальной скорости. В свою очередь, эти колебания приводят к ухудшению качества прокатываемого металла и ускоряют износ механической передачи.

Для компенсации упругости механической передачи в данной работе авторы предлагают ввести в систему корректирующее устройство. В его основе лежит принцип сравнения скорости вала двигателя и прокатного вала. Сигнал рассогласования подается

через пропорционально интегральное звено на регулятор тока. Величина сигнала обратной связи не должна превышать 1,5–2 В.

При синтезе электропривода заданными параметрами считают: механические постоянные времени упругого звена T_u , двигателя T_m и нагрузки T_n ,

$$\gamma = \frac{T_m + T_n}{T_m} = \frac{J_g + J'_n}{J_g} \text{ – коэффициент соотношения}$$

масс двигателя и нагрузки, коэффициенты безразмерного дифференциального уравнения X, Y, Z и масштаб времени m_t , а искомыми – параметры регулятора. Известно, что в данной структуре переходный процесс стандартной формы, определяемый

выбранными значениями X, Y, Z [3], можно получить лишь при одном сочетании параметров $\gamma = \gamma_{opt}$ и $m_t = m_{t,opt}$. Так, при настройке системы по критерию Грехема–Летрона ($X=2,1; Y=3,4;$

$$Z=2,7), \quad \gamma = 2,04, \quad m_{t,opt} = \frac{0,88}{T_u}.$$

Невозможность варьирования величиной m_t приводит к тому, что заданная форма переходного процесса жестко связана с его длительностью. Для устранения этого ограничения, т.е. с целью сделать величины γ и m_t не зависимыми от X, Y, Z , рекомендуется структура с обратными связями по разности скоростей двигателя и исполнительного механизма и интегралу этой разности (рис. 3).

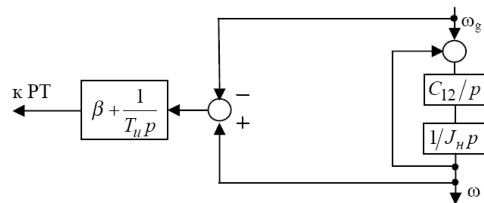


Рисунок 3 – Структурная схема корректирующего устройства

Коэффициенты регулятора предлагается рассчитать по следующей методике. Пропорциональный коэффициент

$$\beta = \tau_M \left(\frac{Z - X\tau_n}{\sqrt{\tau_n^3}} \right), \quad (4)$$

где τ_n характеризует полосу пропускания электрической части привода и задается произвольно, исходя из требуемого быстродействия системы. Требуемая постоянная времени определяется выражением

$$\tau_n = \left(\frac{\Omega_{pr}}{2\pi f_{pr} T_u} \right)^2, \quad (5)$$

$$\text{где } \Omega_{pr} = \sqrt{\frac{Y - \sqrt{Y^2 - 4}}{2}} = \sqrt{\frac{3,4 - \sqrt{3,4^2 - 4}}{2}} = 0,57;$$

f_{pr} – частота колебаний;

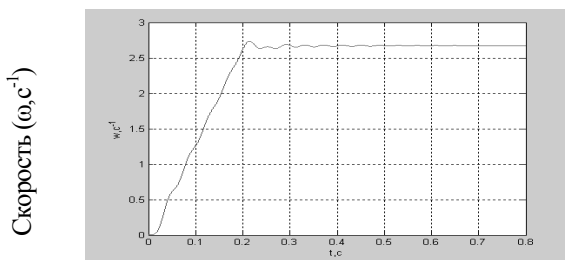
$$T_u = \frac{\sqrt{\gamma}}{2\pi f_{pr}}. \quad (6)$$

Интегральная составляющая корректирующего устройства рассчитывается по следующему выражению:

$$T_U = T_u \tau_u, \quad (7)$$

где $\tau_u = \frac{1}{\tau_m \left(\gamma + \frac{1}{\tau_n^2} - \frac{1}{\tau_n} \right)}$; $\tau_M = \frac{T_u}{T_m}$.

Такая коррекция эквивалентна введению связей по упругому моменту и его производной, но является более удобной с точки зрения практической реализации. Требуется установка на валу двигателя дополнительного датчика угла поворота с такой же разрешающей способностью, как у штатного датчика.



Время (t, с)

Рисунок 4 – Переходный процесс по скорости
Как видно из рис. 4, после введения корректирующего устройства качество переходного процесса по скорости значительно улучшается. Максимальное перерегулирование составило 2,2 %. Отношение времени первого согласования максимума к эквивалентной некомпенсируемой постоянной времени контура T_u равно четырем, что не превышает стандартное значение 4,7, характерное для систем, настроенных на модульный оптимум.

Исходя из анализа показателей качества регулирования предлагаемой системы, можно сказать, что при введении корректирующего устройства система устойчива и по всем критериям соответствует системе, настроенной на модульный оптимум.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко І.С., Морозов Д.І., Динаміка складних електромеханічних систем: навч. посібн. – Алчевськ: ДонДТУ, 2008. – 171 с.
2. Теория электропривода, ч.1: учебное пособие / Сост. А.Б. Зеленов. – Алчевск: ДонГТУ, 2005. – 382 с.
3. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Липецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

SYNTHESIS OF MAIN ELECTRIC ROUGHING STANDS TAKING INTO ACCOUNT THE ELASTICITY OF THE KINEMATIC TRANSMISSION

A. Kholodyuk, V. Kotsjubinsky

Donbass State Technical University

prosp. Metallurgov, 33/42, Alchevsk, 94201, Ukraine. E-mail: KholodyukA@yandex.ru

The paper deals with the synthesis of electromechanical systems, taking into account the elasticity of the kinematic transmission, considered as an example of the main electric stand roughing mill 3000. The authors recommend using a corrective device to compensate mechanical vibration. The calculation of device is presented in this paper.

Key words: elasticity, the kinematic transmission, vibration, corrective device, two-mass system, the friction torque.

REFERENCES

1. Shevchenko I.S., Morozov D.I. *Dynamics of complex electromechanical systems*: Manual. – Alchevsk: DonSTU, 2008. – 171 p. [in Ukrainian]
2. *Theory of electric drive, Part 1: Manual* / Authors. A.B. Zelenov. – Alchevsk: DonSTU, 2005. – 382 p. [in Russian]
3. Livshits B.G., Kraposhin V.S., Lipetskiy J.L. *Physical Properties of Metals and Alloys*. – М.: Metallurgiya, 1980. – 320 p. [in Russian]

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку

к.т.н., доц. Сергієнком С.А.