

УДК 62-34/-38:621.771

СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ РОЛЬГАНГОВ ПРОКАТНОГО СТАНА

Д.Н. ЦАПКО, С.В. ЛУКЬЯНЕЦ

ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга
“Белорусская металлургическая компания”»
Промышленная, 37, Жлобин, 247210, Беларусь

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 12 мая 2014

Анализируется структурная схема силовой части электроприводов рольгангов прокатного стана, производится синтез регулятора системы автоматического управления и его моделирование в среде Simulink.

Ключевые слова: рольганг, электропривод, структурная схема, моделирование, синтез регулятора.

Введение

Прокатное производство – сложный процесс, базирующийся на современных технологиях и оборудовании, высоком уровне механизации и автоматизации на всех стадиях обработки проката для получения продукции с заданными показателями качества. Основной особенностью производства является высокая скорость протекания технологических операций.

При анализе существующей системы управления технологическим процессом стана 850 на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» выявлены ее существенные недостатки и предложены решения, направленные на увеличение производительности стана, повышение качества готовой продукции, а также улучшение условий труда персонала [1]. В частности, для сближения скоростей отводящих рольгангов клетки и транспортных рольгангов холодильника со скоростью произведен соответствующий выбор двигателей, направленный на уменьшение износа поверхности роликов и сокращение времени позиционирования заготовки.

В настоящем исследовании осуществляется расчет параметров структурной схемы силовой части электропривода, разработки схемы алгоритма позиционного регулятора и моделирование динамических процессов в среде Simulink.

Структурная схема электроприводов рольгангов

Силовая часть электропривода каждого рольганга состоит из частотного преобразователя и группы электродвигателей. Структурная схема электропривода представлена на рис. 1 [2].

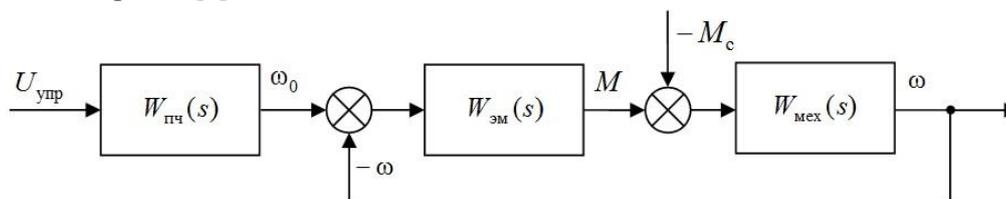


Рис. 1. Структурная схема электропривода

Динамические свойства преобразователя частоты с блоками измерения и преобразования координат могут быть учтены аperiodическим звеном с передаточной функцией

$$W_{\text{пч}}(s) = \frac{k_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}}s + 1} \cdot \frac{2\pi}{p_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{пч}}$ – коэффициент передачи преобразователя, $T_{\text{пч}}$ – постоянная времени преобразователя, $p_{\text{н}}$ – количество пар полюсов асинхронного двигателя (для выбранного двигателя серии 4А100L4 УЗ $p_{\text{н}} = 2$), s – оператор Лапласа.

Коэффициент передачи преобразователя найдем из выражения

$$k_{\text{пч}} = \frac{f_{\text{с}}}{U_{\text{упр.мак}}}, \quad (2)$$

где $f_{\text{с}}$ – промышленная частота питающей сети, $U_{\text{упр.мак}}$ – максимальное напряжение входного сигнала системы управления.

Численное значение коэффициента передачи преобразователя частоты $k_{\text{пч}} = \frac{50}{10} = 5 \frac{\text{Гц}}{\text{В}}$. Постоянная времени преобразователя $T_{\text{пч}}$ состоит из времени задержки включения ШИМ $T_{\text{ш}}$ и времени, затрачиваемого процессором на преобразование и вычисление сигналов $T_{\text{пр}}$:

$$T_{\text{пч}} = T_{\text{ш}} + T_{\text{пр}}. \quad (3)$$

Время задержки ШИМ определяется по формуле $T_{\text{ш}} = \frac{1}{f_{\text{к}}}$, а так как несущая частота коммутации $f_{\text{к}} = 8000 \text{ Гц}$, то $T_{\text{ш}} = 0,000125 \text{ с}$.

Время на преобразование сигналов $T_{\text{пр}} = 0,001 \text{ с}$. Следовательно $T_{\text{пч}} = 0,001125 \text{ с}$. Электродвигатель представим передаточными функциями, соответствующими электромагнитной и механической составляющим, соединенными последовательно аperiodическим и интегрирующим звеньями.

Модель электромагнитной составляющей асинхронного двигателя имеет вид:

$$W_{\text{эм}}(s) = \frac{\beta_e}{T_{\text{эм}}s + 1} \cdot \frac{3}{2} p_{\text{н}} k_2, \quad (4)$$

где β_e – модуль жесткости естественной характеристики, $T_{\text{эм}}$ – электромагнитная постоянная времени, $p_{\text{н}}$ – количество пар полюсов двигателя, k_2 – коэффициент электромагнитной связи ротора. Из предварительных расчетов $k_2 = 0,945$.

Модуль жесткости естественной характеристики двигателя

$$\beta_e = \frac{2M_{\text{к}}}{\omega_{0\text{н}} s_{\text{к}}}, \quad (5)$$

где $M_{\text{к}}$ – максимальный критический момент, $\omega_{0\text{н}}$ – номинальная синхронная угловая скорость, $s_{\text{к}}$ – критическое скольжение двигателя.

Подставив в (5) численные значения, предварительно определив $M_{\text{к}} = 64,08 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и $s_{\text{к}} = 0,31$, а также $\omega_{0\text{н}} = \frac{2\pi f_1}{p_{\text{н}}} = 157 \text{ с}^{-1}$, получим: $\beta_e = 2,63$. Электромагнитная постоянная времени асинхронного двигателя

$$T_{\text{эм}} = \frac{1}{\omega_{0\text{эл}} \cdot s_{\text{к}}}, \quad (6)$$

где $\omega_{0эл} = 2\pi f_1 = 314,6 \text{ с}^{-1}$ – круговая частота сети.

Численное значение $T_{эм} = 0,01 \text{ с}$. Модель механической части асинхронного двигателя представляется интегрирующим звеном с передаточной функцией

$$W_{мех}(s) = \frac{1}{Js}, \quad (7)$$

где J – суммарный момент инерции системы (с учетом момента инерции транспортируемого металла), приведенный к валу двигателя, из предварительных расчетов $J = 0,52$.

Позиционный регулятор системы управления электроприводами рольгангов

Схема алгоритма позиционного регулятора электроприводов рольгангов при реализации ее в среде Simulink представлена на рис. 2.

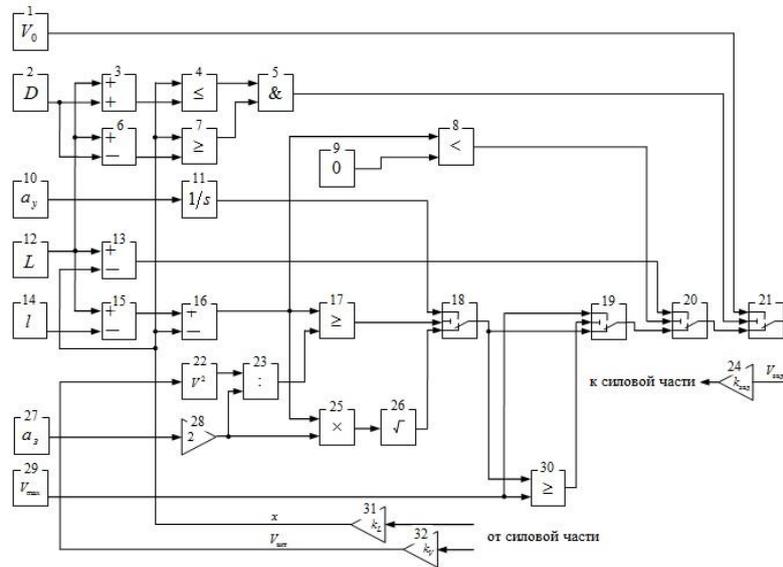


Рис. 2. Схема алгоритма позиционного регулятора

Назначение блоков схемы: 1 – задание нулевой скорости V_0 при достижении заготовкой конечной позиции; 2 – задание позиционного допуска D ; 3, 6 – вычисление верхнего и нижнего пределов допуска позиционирования, $L \pm D$; 4, 7 – контроль координаты x , если данная величина находится в диапазоне между верхним и нижним пределами позиционного допуска ($L + D > x > L - D$), тогда через логический элемент 5 ключ 21 переводится в верхнее положение и скорость на выходе регулятора равна V_0 ; 8 – сравнение с 0 остатка пути $\Delta S_{п}$, если $\Delta S_{п} < 0$, то ключ 20 переводится в верхнее положение и заданная скорость на выходе регулятора прямо пропорциональна остатку пути, т.е. $V_{зад} = \Delta S$; 9 – задание числовой константы; 10 – задание ускорения a_y ; 11 – обеспечение нарастания скорости в период ускорения; 12 – задание позиции остановки заготовки L ; 13 – расчет остатка пути $\Delta S = L - x$; 14 – отрицательное смещение от заданной позиции l ; 15 – расчет предварительной позиции для остановки заготовки с учетом отрицательного смещения $X = L - l$; 16 – расчет остатка пути с учетом предварительной позиции $\Delta S_{п} = X - x$; 17 – сравнение остатка пути с учетом предварительной позиции $\Delta S_{п}$ с координатой начала снижения скорости S , если $\Delta S_{п} \geq S$ тогда логический ключ 18 находится в верхнем положении, заданная скорость формируется в блоках 10, 11, если данное условие не выполняется, то, логический ключ 18 переключается в нижнее положение и расчет заданной скорости производится через блоки 25–28; 18, 19, 20, 21 – обеспечение работы регулятора в различных режимах, с помощью логических ключей; 22, 23 –

расчет координаты начала снижения скорости: $S = \frac{V^2}{2a_3}$, где V – актуальная скорость, a_3 – замедление; 24 – определение коэффициента масштабирования аналогового задания скорости, $k_{зад} = \frac{U_{max}}{V_{max}}$, где U_{max} – максимальное напряжение управления, V_{max} – максимальная скорость движения заготовки; 25, 26 – расчет заданного значения скорости в период замедления $V_{зад} = \sqrt{\Delta S_{п} \cdot 2 \cdot a_3}$; 27 – задание замедления a_3 ; 28 – умножение замедления на два; 29 – ограничение максимальной скорости V_{max} ; 30 – сравнение расчетного значения скорости $V_{зад}$ с заданной максимальной скоростью V_{max} , если $V_{зад} > V_{max}$ то логический ключ 19 переключается в верхнее положение и на выходе регулятора устанавливается скорость $V_{зад} = V_{max}$; 31, 32 – установление коэффициентов усиления по скорости и расстоянию $k_V = k_L = \frac{d_p}{2}$, где d_p – наружный диаметр ролика рольганга.

Компьютерный эксперимент

Схема моделирования системы управления в среде Simulink представлена на рис. 3.

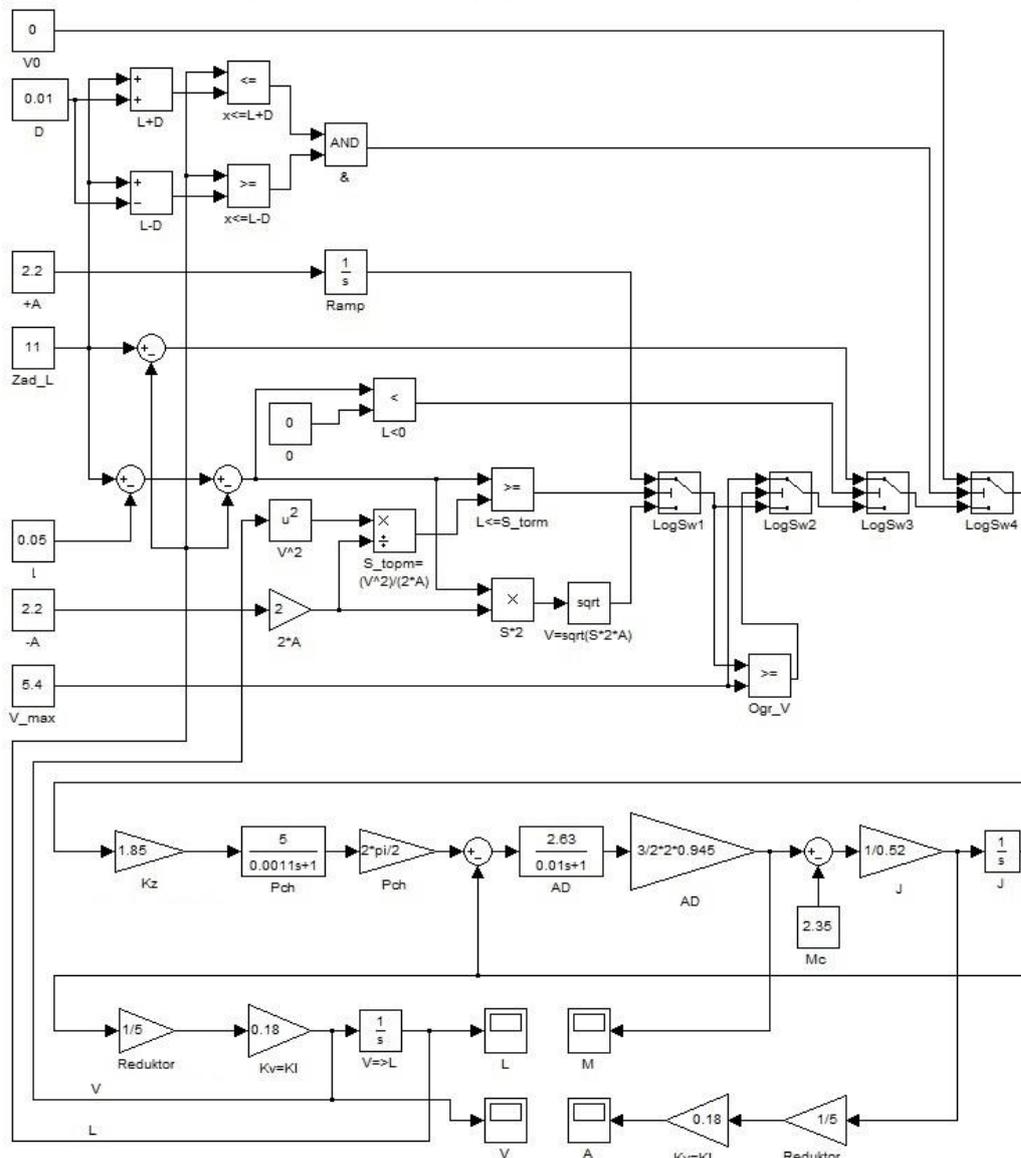


Рис. 3 Схема моделирования системы управления

При выполнении компьютерного эксперимента учтены исходные данные, вытекающие из требований к технологическим характеристикам электроприводов и предварительных расчетов [3]. Так, длина заготовки $L=11$ м, максимальная скорость движения заготовки $V_{\max}=5,4$ м/с, ускорение и замедление $a_y = a_3 = 2,2$ м/с², позиционный допуск $D=0,01$ м, наружный диаметр ролика $d_p=0,36$ м, передаточное число редуктора $i=5$, статический момент транспортирования металла по рольгангу при отсутствии буксирования и добавочных сопротивлений $M_c=2,35$ Н·м, максимальное напряжение управления $U_{\max}=\pm 10$ В, коэффициенты: $k_{\text{зад}}=1,8 \frac{\text{Вс}}{\text{м}}$, $k_V=k_L=0,18$ м.

В результате моделирования системы управления получены динамические характеристики, представленные в виде графиков на рис. 4.

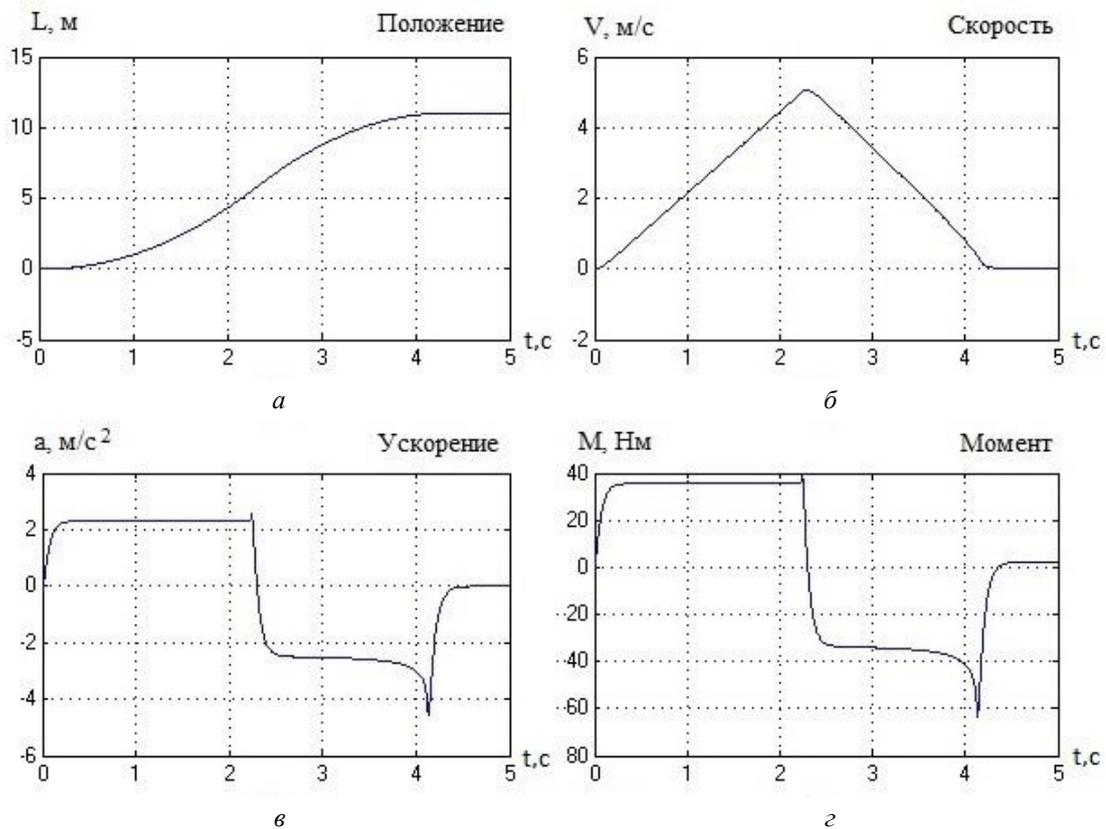


Рис. 4. Динамические характеристики системы

На рис. 4, *а* показано изменение координаты контролируемого объекта в процессе позиционирования. Координата достигла заданного значения, с учетом позиционного допуска через $t=4,5$ с. На рис. 4, *б* изображено изменение скорости. Максимальное значение скорости $V=5$ м/с.

Ускорение (рис. 4, *в*) в период разгона не превышает заданного значения $a_y = 2,2$ м/с². В период замедления соответствующее значение $a_3 = -2,5$ м/с², а по мере приближении к заданной позиции $a_3 = -4,5$ м/с².

График на рис. 4, *г* отображает изменение момента на валу электродвигателя. При ускорении момент составляет $M=35,6$ Н·м, в процессе замедления достигает пикового значения $M=63,7$ Н·м, что меньше максимального критического момента M_k , следовательно, двигатель работает без перегрузок.

Заключение

Предлагаемая структурная схема электроприводов рольгангов прокатного стана включает апериодическое звено преобразователя частоты и безынерционное звено блоков измерения и преобразования координат, последовательно соединенные с охваченной местной обратной связью моделью двигателя в виде апериодического звена и интегратора. Приведенные аналитические выражения позволяют рассчитать параметры всех элементов схемы.

С учетом технологических требований к производственному процессу выполнен синтез алгоритма позиционного регулятора системы управления электроприводами рольгангов и разработана схема ее модерирования в среде Simulink, проведен компьютерный эксперимент. Результаты расчетов на ЭВМ подтвердили правильность предлагаемой модели приводов рольгангов, приемлемое совпадение расчетных и экспериментальных динамических характеристик системы управления и тем самым ее перспективность.

SYNTHESIS AND SIMULATION OF ELECTRIC DRIVES CONTROL SYSTEM OF ROLLING MILL CONVEYORS

D.N. TSAPKO, S.V. LUKYANETS

Abstract

The structural diagram of electric drives conveyors power of rolling mill is offered, the synthesis of automatic control system controller and its simulation in a medium of Simulink is produced.

Список литературы

1. *Цапко Д.Н., Куполов В.Н., Лукьянец С.В.* // Матер. междунар. научн. конф. «Информационные технологии и системы-2013». Минск, 23 октября 2013. С. 104–105.
2. *Фираго Б.Н., Павлячик Л.Б.* Регулируемые электроприводы переменного тока Минск, 2006.
3. *Зеленов А.Б.* Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов. Киев, 1990.