
НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРА ОБЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ВО ВЗАИМОСВЯЗАННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Важнейшей проблемой современного краностроения является проектирование грузоподъемных машин, обеспечивающих максимальную производительность при минимуме энергопотребления. Решению этой проблемы способствует применение многодвигательного взаимосвязанного асинхронного привода перемещения мостового крана (АППМК), позволяющего индивидуально воздействовать на каждое колесо механизма передвижения моста. Основной причиной значительного расхода энергии, а, следовательно, и износа колес являются обусловленные технологическими факторами их взаимные перекосы, вызывающие практически постоянный контакт реборд с рельсами. Задача предотвращения или снижения интенсивности износа тесно связана с задачей обеспечения прямолинейной или близкой к ней траектории движения крана, совпадающей с направлением рельсового пути. Основными факторами, способствующими возникновению сил перекоса и поперечных реакций рельсового пути, являются: установочный перекося ходовых колес в горизонтальной плоскости; смещение грузовой тележки от середины пролета; перекося ходовых колес вследствие упругой деформации моста; различие характеристик приводных двигателей для кранов с раздельным приводом и разница в диаметрах приводных колес кранов [1].

Снизить влияние нежелательных факторов можно, применив многодвигательный взаимосвязанный АППМК. Наличие микропроцессорной техники позволяет применить генетические алгоритмы (ГА), которые способны находить глобальный оптимум и не требуют точного знания параметров объекта управления.

Анализ литературных источников. В [2] синтез регуляторов подсистемы согласования нагрузок выполнен на основе модифицированного принципа симметрии систем автоматического управления и концепции возмущенного-невозмущенного движения. Такие системы управления (СУ) обеспечивают сохранение устойчивости системы при действии широкого спектра дестабилизирующих факторов, что характерно для крановых электроприводов. В [3] выполнена сравнительная оценка лимитирующих факторов предельно допустимого быстродействия электроприводов механизмов перемещения мостового крана с регуляторами состояния. Дополнительный ПИ-регулятор и обратные связи по необходимым координатам образуют систему с регулятором состояния и наблюдателем. Наличие в составе модального регулятора положительной обратной связи по проекции силы упругости каната приводит к потере устойчивости системы. Главным лимитирующим фактором быстродействия является ограничение момента в регуляторе скорости. В [4] оптимизация диаграммы позиционного привода выполнена с учетом минимизации потерь при неизменных динамических моментах. Показано, что обработка перемещения позиционным механизмом с минимальными потерями в двигателе происходит при трапецеидальной тахограмме с одинаковыми продолжительностями разгона, установившегося движения и торможения. В [5] осуществлена линеаризация нелинейной электромеханической системы грузоподъемного механизма. Переходные процессы нелинейной системы уравнений и линеаризованной системы уравнений существенно не отличаются. В [6] предложено применение нечеткой нейронной сети, которая аппроксимирует управление по текущим значениям фазовых координат, для управления электроприводом постоянного тока. Минимизация ошибки выполнена методом прямого поиска минимума в пространстве параметров функций принадлежности текущих значений фазовых координат и времени.

Из анализа рассмотренных литературных источников следует, что вопросы оптимальной настройки параметров СУ взаимосвязанного асинхронного привода крана по критерию минимального взаимодействия реборд колес с рельсами не рассматривались.

Цель статьи. Настройка системы управления взаимосвязанного четырехдвигательного АППМК с помощью ГА для обеспечения движения без взаимодействия реборд колес с рельсами.

Структура системы управления взаимосвязанного АППМК. Рассматривается движение четырехколесного мостового крана с цилиндрическими колесами, установленными под разными углами к мосту крана. Модель движения моста крана подробно описана в [7]. Движение моста крана рассматривалось в двух плоских ортогональных системах координат: неподвижной "ху" и вращающейся вместе с мостом крана "dq". Мост имеет три степени свободы: две поступательные и одну вращательную. Структурная схема взаимосвязанного асинхронного электропривода перемещения крана с блоком ГА представлена на рис.1.

В схеме используются следующие обозначения: $PC1, \dots, PC4$ – регуляторы скорости; $BCPT1, \dots, BCPT4$ – векторные системы регулирования тока асинхронного двигателя; $AD1, \dots, AD4$ – асинхронные двигатели; k_p – передаточное число редуктора; R_i – радиус i -го колеса; P_i – движущие или тормозные силы, развиваемые i -ым колесом, $i = 1, 2, 3, 4$ – номер колеса; W_i – силы сопротивления передвижению соответствующим колесам крана; φ – угол поворота моста; V_1, \dots, V_4 – проекции линейных скоростей центров колес на плоскости колёс; РООС – регулятор общей обратной связи; ЗИ – датчик интенсивности. Блок масштабирования используется для пересчета нормализованных коэффициентов, найденных ГА. Блок задания критерия настройки формирует фитнес функцию ГА.

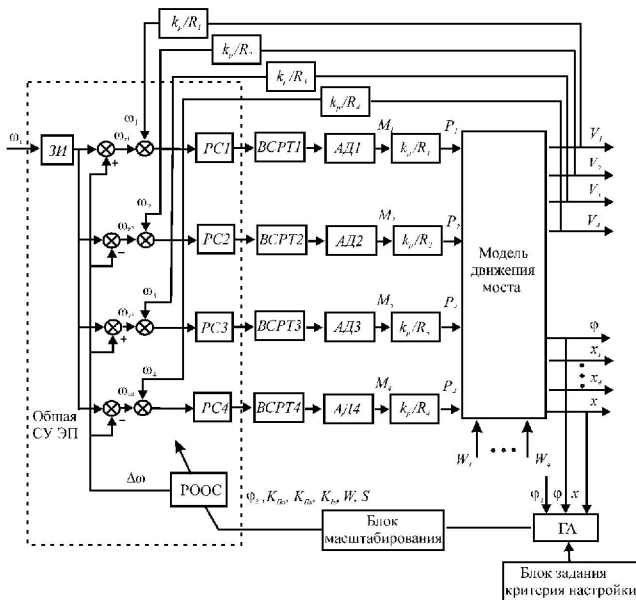


Рис. 1 Структурная схема четырехдвигательного взаимосвязанного АППМК с блоком ГА.

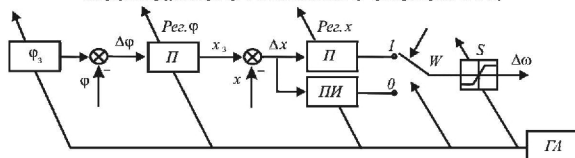


Рис. 2 Структура РООС.

параметров РООС, исходя из требуемых критериев качества, используем возможности ГА. Целевая функция ГА, составленная для критерия, который минимизирует взаимодействие реборд колес с рельсами, при обработке заданного перемещения, описывается следующей функцией:

$$F = |x_1(t)| + |x_2(t)| + |x_3(t)| + |x_4(t)|, \quad (1)$$

где $x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)$, – поперечные смещения центров соответствующих колес от средней линии рельса в направлении оси “х”; t – текущее время.

Выходом РООС является сигнал коррекции задания угловой скорости $\Delta\omega$. Корректировка заданий угловых скоростей АД выполняется по следующим уравнениям:

$$\begin{cases} \omega_{Z1} = \omega_{Z3} = \omega^* - \Delta\omega, \\ \omega_{Z2} = \omega_{Z4} = \omega^* + \Delta\omega. \end{cases} \quad (2)$$

Организация программы поиска параметров РООС с помощью ГА. Программа поиска параметров РООС состоит из программы блока генетических операций и программы модели взаимосвязанного электропривода. Программа блока генетических операций состоит из основного модуля и модуля поиска оптимальных параметров. В основном модуле задаются: количество варьируемых переменных, параметры генетических операций, критерии останова ГА, начальные значения варьируемых параметров, а также осуществляется запуск модуля определения лучших параметров. В модуле поиска оптимальных параметров выполняются генетические операции, и для каждого новых значений параметров РООС осуществляется запуск программы модели электропривода и по результату моделирования вычисляется фитнес функция, согласно уравнению (1).

СУ взаимосвязанного привода содержит РООС, структура и параметры которого настраиваются с помощью ГА. В РООС используется пропорциональный регулятор угла поворота с коэффициентом $K_{P\varphi}$ и регулятор перемещения – ПИ с коэффициентами K_{Ix}, K_{Ix} . Для его настройки необходимо определить такие параметры: φ_3 – заданный угол поворота; коэффициент $K_{P\varphi}$; структуру регулятора перемещения (положения ключа W); коэффициенты K_{Ix}, K_{Ix} ; S – ограничения выхода РООС.

Результаты моделирования. При моделировании АППМК в системе MATLAB были заданы следующие параметры реального мостового крана (грузоподъемностью 20/5т): $m = 47200$ кг; $J = 2,21 \cdot 10^6$ кгм². Используются двигатели 4А132S6У3 со следующими параметрами: $P_{\text{д.н}} = 5,5$ кВт; $U_{\text{снф}} = 220$ В; $I_{\text{снф}} = 10,4$ А; $\omega_n = 100,7$ с⁻¹; $M_n = 49,2$ Нм; $z = 3$; амплитуда номинального фазного потокосцепления ротора: $\Psi_{rn} = 0,889$ Вб; $k_p = 14$; углы установочного перекаса колес: $\beta_1 = 0,009$ рад, $\beta_2 = -0,005$ рад, $\beta_3 = -0,003$ рад, $\beta_4 = 0,003$ рад; $W_1 = 800$ Н, $W_2 = 640$ Н, $W_3 = 720$ Н, $W_4 = 880$ Н. Задавалось изменение радиуса первого колеса на 10% ($R_1 = 0,385$ м, $R_2 = R_3 = R_4 = 0,35$ м).

Максимальное отклонение до взаимодействия реборд колес с рельсами по оси "х" составляет ± 15 мм. Моделирование АППМК выполнялось в системе MATLAB при использовании пакета инструментов ГА с фиксированным шагом 0,01с. В основном модуле программы блока генетических операций для всех настроек параметров РООС задавались следующие параметры ГА: диапазон начальной популяции [0;1], количество эпох - 18, размер популяции - 10, вид мутации - однородная, вероятность мутации - 0,9, отбор - турнирный метод с размером особей в подгруппе 6, число элитных особей - 3, кроссовер - рассеивающий. Данные параметры выбраны по результатам экспериментов. Результаты настройки для критерия (уравнение (1)) параметров РООС для минимизации взаимодействия реборд колес с рельсами во взаимосвязанном четырехдвигательном АППМК с моментом инерции J_n и $2J_n$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения искомым параметров РООС.

Момент инерции	φ_3	$K_{ПФ}$	$K_{Пх}$	$K_{Iх}$	W	S
J_n	0,00094563	7407600	21818	–	1	2,7228
$2J_n$	0,0016396	3517700	134610	28,841	0	0,85546

Результаты моделирования взаимосвязанного четырехдвигательного привода перемещения мостового крана с моментом инерции J_n и $2J_n$ приведены на рис. 3.

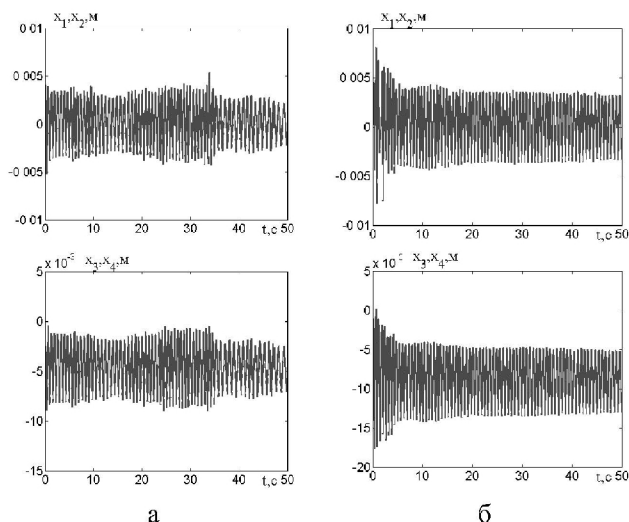


Рис. 3 Результаты моделирования движения крана по оси "х": а – при J_n ; б – при $2J_n$.

Анализ результатов. При моделировании значения генов в начальной популяции, состоящей из 10 особей, задавались случайно. Над особями производились генетические операции: отбор, скрещивание и мутация. Далее осуществлялся расчет фитнес функции. После чего отбиралась особь с лучшей фитнес функцией. В процессе получения результатов задавались разные фитнес функции, но в результате была выбрана функция (уравнение (1)), которая обеспечивала движения моста крана без взаимодействия реборд колес с рельсами. Параметры генетических операций находились экспериментально. Настройка параметров РООС выполнялась на первых 6 секундах. Из анализа рис. 3 следует, что поперечные смещения центров соответствующих колес от средней линии рельса в направлении оси "х" находятся в пределах ± 15 мм. Настроенная система управления остается устойчивой и обеспечивает движения крана без взаимодействия реборд колес с рельсами.

Выводы. 1. Проверена методика настройки системы управления взаимосвязанного четырехдвигательного АППМК с помощью ГА для обеспечения движения без взаимодействия реборд колес с рельсами. Получены с помощью ГА значения параметров РООС для различных моментов инерции. 2. Результаты моделирования показали, что поперечные смещения центров соответствующих колес от средней линии рельса находятся в пределах ± 15 мм, при различных углах установочного перекоса колес, моментов сопротивления, изменении радиусов колес на 10% во взаимосвязанном АППМК с РООС, параметры которого определены ГА.

Список литературы.

1. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
2. Иванов С.Б. Многодвигательные крановые электроприводы с согласованием нагрузок на преобразователях частоты SIMOVERT MASTERDRIVE // Проблемы автоматизированного электропривода: Теория и практика: Сб. науч. тр. Днепродзержинского ун-та. Тематический вып. – Днепродзержинск, 2007. – С. 108 – 109.
3. Осичев А.В. Сравнительная оценка лимитирующих факторов предельно допустимого быстродействия электроприводов механизмов перемещения мостового крана с регуляторами состояния // Проблемы автоматизированного электропривода: Теория и практика: Сб. науч. тр. Днепродзержинского ун-та. Тематический вып. – Днепродзержинск, 2007. – С. 136 – 139.
4. Яблонь В.П. Оптимизация диаграммы позиционного электропривода по минимуму потерь при неизменных динамических моментах /В.П. Яблонь, Д.И. Морозов, Е.В. Полилов // Проблемы автоматизированного электропривода: Теория и практика: Сб. науч. тр. Днепродзержинского ун-та. Тематический вып. – Днепродзержинск, 2007. – С. 205 – 206.
5. Панкратов А.И. Линеаризация нелинейной электромеханической системы грузоподъемного механизма/ А.И.Панкратов, А.Ф. Залытов // Проблемы автоматизированного электропривода: Теория и практика: Сб. науч. тр. Днепродзержинского ун-та. Тематический вып. – Днепродзержинск, 2007. – С. 397 – 398.
6. Канов Л.В. Управление электроприводом постоянного тока на основе нечетких нейронных сетей // Автоматика: Матеріали XIV Міжнародної конференції з автоматичного управління. (10-14 вересня. 2007) Ч. 1. – Севастополь, 2007. – С. 74 – 75.
7. Орловский И.А., Бут Ю.С. Математическая модель взаимосвязанного электропривода перемещения мостового крана с общей системой управления // Вісник Кременчуцького державного політехнічного ун-та ім. М. Остроградського. – Ч.1. – Кременчук, 2008. – Вип. 4 (51). – С. 145 – 149.