

Ю. И. Еременко, д-р техн. наук, проф., erem49@mail.ru,

А. И. Глущенко, канд. техн. наук, доц., strondutt@mail.ru, В. А. Петров, аспирант, 79040882508@ya.ru,

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", г. Старый Оскол

Об использовании нейросетевого настройщика для адаптации П регулятора скорости электропривода прокатной клетки*

Рассмотрена проблема построения адаптивной системы управления электроприводом прокатной клетки. В качестве механизма адаптации для оперативного изменения настройки регулятора скорости применен нейросетевой настройщик, состоящий из искусственной нейронной сети и базы правил. Проведено сравнительное моделирование системы с классическим пропорциональным регулятором и системы с настройщиком. Показана эффективность предлагаемого метода.

Ключевые слова: электропривод высокой мощности, подчиненное регулирование, прокатная клетка, П-регулятор, адаптация регулятора, нейронная сеть, база правил, нейросетевой настройщик

Введение

Прокатное производство является одной из наиболее энергоемких составляющих горно-металлургического комплекса [1]. Прокатные клетки, в особенности те, которые осуществляют черновую прокатку заготовок, оснащаются электрическими машинами высокой мощности. В настоящее время в отечественной промышленности в качестве двигателей главных приводов черновых клеток широко используются двигатели постоянного тока.

Для построения системы управления подобным электроприводом применяется известный принцип подчиненного регулирования координат [2]. По этому принципу для регулирования частоты вращения электродвигателя в первой зоне (ниже номинальной скорости) строятся два контура управления. Внутренний — контур регулирования тока якоря электрической машины, внешний — контур регулирования скорости. В этих контурах используются регуляторы П и ПИ типов, настраиваемые на технический и (или) симметричный оптимумы. Такая настройка позволяет с относительно хорошим качеством регулирования управлять электроприводом постоянного тока. Однако сложные металлургические агрегаты, в том числе и прокатные клетки, являются нелинейными объектами управления. Это приводит к ухудшению качества переходных процессов при дрейфе их параметров. Этот дрейф возникает, в первую очередь, из-за технологии реверсивной прокатки, которая часто применяется в работе черновых прокатных клеток. Она заключается в том, что прокатываемая заготовка несколько раз проходит сквозь прокатные валки, изменяя свои геометрические размеры. Кроме того, прокатываемые заготовки могут отличаться по температуре и маркам стали и, соответ-

ственно, механическими характеристикам. Также технологией предусмотрены замены изношенных прокатных валков, что приводит к изменению момента инерции электропривода.

Таким образом, используемые линейные П и ПИ регуляторы не всегда способны обеспечить требуемое качество управления электроприводом прокатной клетки в условиях изменения параметров объекта управления.

Решением данной проблемы может стать построение адаптивной системы управления. При построении такой системы, в первую очередь, необходимо выбрать используемый закон управления. Подавляющее большинство электроприводов на производстве функционирует с использованием П/ПИ регуляторов. Кроме того, считается [3], что для уже существующей системы под управлением регуляторов, основанных на ПИД алгоритме, нет необходимости усложнять систему, заменяя этот алгоритм другим, а функции адаптации следует перенести на механизм, изменяющий настройку вышеуказанных регуляторов в режиме реального времени (настройщик). Рассмотрим подобные системы подробнее.

Термин "настройщик" был введен в 1975 г. коллективом авторов, под руководством Б. В. Новоселова [4]. Подобные системы можно разделить на системы, использующие классические методы, и системы с интеллектуализацией. Классические методы настройки регуляторов требуют наличия адекватной модели управления [5], отражающей изменение объекта во всех режимах работы, или использования тестового сигнала [6—7]. Отдельно необходимо выделить системы с использованием эталонной модели [8]. Но в этом случае необходимо знать коэффициент усиления объекта управления, что также требует проведения процедуры идентификации, что сделать в условиях действующего производства практически невозможно.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-07-06092).

Ряд методов настройки регулятора комбинируют использование эталонной модели с каким-либо методом искусственного интеллекта [9, 10]. Но это не решает проблемы идентификации коэффициента усиления объекта управления во всех режимах работы.

Кроме этого, существует ряд интеллектуальных методов, которые не требуют наличия модели управления: нейронные сети [11–12], нечеткая логика [13–15], а также поисковые методы оптимизации (генетические алгоритмы [16, 17], метод роя частиц [18, 19], пчелиные алгоритмы [20] и др. [21, 22]). Однако, как показали проведенные исследования, по отдельности эти методы также имеют недостатки (отсутствие механизмов обучения, учета специфики работы объекта управления, например, его несимметричности), которые возможно устранить их совместным использованием.

В данной работе предлагается использование нейросетевого настройщика, сочетающего в себе искусственную нейронную сеть и базу правил [23]. Предлагаемый настройщик не требует построения модели объекта управления или использования тестового сигнала.

Постановка задачи исследования

В данной работе рассматривается система управления главным электроприводом постоянного тока двухвалковой реверсивной прокатной клети, построенная по принципу подчиненного регулирования (рис. 1).

Она состоит из регулятора скорости (РС), регулятора тока (РТ), тиристорного преобразователя (ТП), обмотки якоря (ОЯ) и механической части электропривода (М).

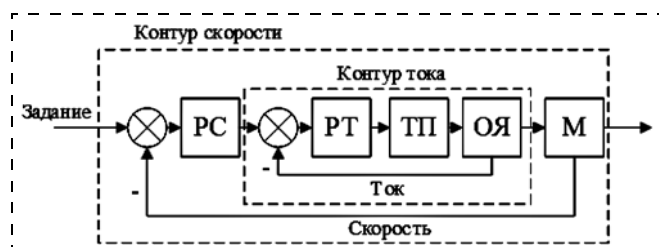


Рис. 1. Структурная схема электропривода постоянного тока

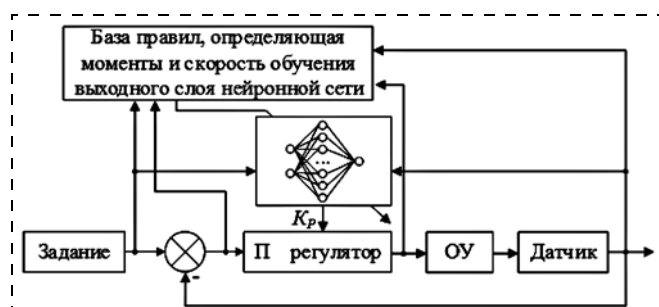


Рис. 2. Контур управления с нейросетевым настройщиком

Задачей данной работы ставится построение нейросетевого настройщика для П регулятора скорости в условиях ступенчатых и линейно нарастающих смен уставок по скорости, что адекватно реальному режиму работы прокатной клети. Для этого необходимо выбрать структуру нейронной сети и разработать базу правил. Для проверки работоспособности метода проведено численное моделирование и сравнение с системой без настройки регулятора скорости в условиях изменения момента инерции электропривода.

Нейросетевой настройщик

Нейросетевой настройщик состоит из искусственной нейронной сети и базы правил, которая определяет, в какие моменты и с какой скоростью обучать нейронную сеть (рис. 2).

Общий алгоритм выбора структуры нейронной сети настройщика описан в работе [24]. Число слоев будет совпадать с рассматриваемой работой. Далее необходимо рассчитать число нейронов в каждом из слоев сети.

Входной слой. Число нейронов на входном слое нейронной сети определяется рассматриваемым регулятором. В данной работе предполагается настраивать П регулятор скорости. Считается, что нейронная сеть должна обладать теми же данными, что и регулятор. В свою очередь, для функционирования П регулятора ему необходимо две величины: текущее задание и отслеживаемая координата электропривода. Исходя из вышесказанного зададимся числом нейронов на входном слое, равным двум.

Скрытый слой. Число нейронов скрытого слоя (N_{hid}) должно быть не менее $2N + 1$, где N — это число нейронов на входном слое сети. Кроме этого, для определения числа нейронов на скрытом слое сети по формуле (1) из работы [24] необходимо задаться числом точек усреднения (N_{av}) измеряемых величин. Примем $N_{av} = 3$ для всех дальнейших экспериментов. Таким образом,

$$N_{hid} = (2N + 1) + N_{av} - 1, \quad (1)$$

т. е. необходимое число нейронов на скрытом слое сети равно семи.

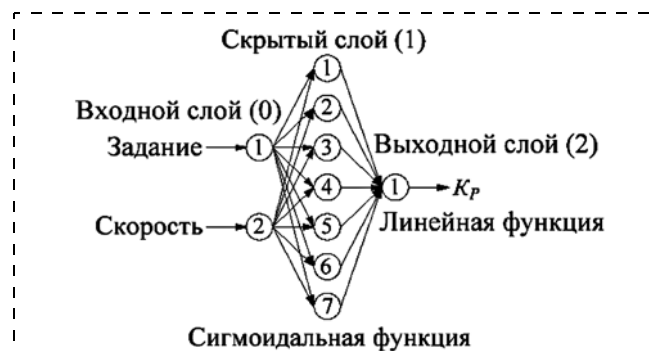


Рис. 3. Структура нейронной сети настройщика

Выходной слой. На выходном слое нейронной сети, используемой в нейросетевом настройщике, находится один нейрон, отвечающий за K_P регулятора скорости. Общая структура сети приведена на рис. 3.

Нейросетевой настройщик вызывается дискретно, раз в Δt секунд. Значение Δt определяется в соответствии с работой [25].

База правил

В данной работе разработана база правил, определяющая конкретные значения скорости обучения ($\eta_1^{(2)}$) нейрона выходного слоя при каждом вызове метода обучения. Скорость обучения выходного нейрона зависит от текущего перерегулирования по скорости. Несмотря на любые изменения в механике прокатной клетки, перерегулирование должно находиться в пределах, определенных оператором. Для работы базы правил в режиме реального времени в нейросетевом настройщике реализован расчет следующих величин: перерегулирование на текущем переходном процессе (σ), скорость электродвигателя при предыдущем вызове нейросетевого настройщика ($n_{\text{шаг назад}}$), текущее установившееся значение задания (g_{cur}), установившееся значение задания по скорости для предыдущего переходного процесса (g_{prev}). Значения нижней (σ_{min}) и верхней границ перерегулирования (σ_{max}) задаются оператором исходя из требований технологического процесса на первой итерации работы нейросетевого настройщика. Также для каждого переходного процесса необходимо рассчитать отставание кривой скорости от кривой задания в тот момент, когда задание достигает своего установившегося значения:

$$\xi = \frac{|n - g_{\text{prev}}|}{|g_{\text{cur}} - g_{\text{prev}}|}. \quad (2)$$

Рассмотрим предлагаемые правила.

ЕСЛИ перерегулирование превышает значение, выбранное оператором, И $\sigma > 0$, ТО необходимо

уменьшить коэффициент П регулятора K_P . Скорость вычисляется по формуле

$$\eta_1^{(2)} = K_P \frac{|\sigma_{\text{min}} - \sigma|}{|\sigma_{\text{min}}|} \xi \frac{1}{|n - n_{\text{шаг назад}}|}. \quad (3)$$

ЕСЛИ перерегулирование не достигает необходимого значения, выбранного оператором, И $\sigma > 0$, ТО необходимо увеличить K_P :

$$\eta_1^{(2)} = K_P \frac{|\sigma_{\text{max}} - \sigma|}{|\sigma_{\text{max}}|} \xi \frac{1}{|n - n_{\text{шаг назад}}|}. \quad (4)$$

ЕСЛИ кривая скорости приближается к кривой задания, И кривая скорости пересекла задание, И кривая задания еще не достигла установившегося значения, ТО необходимо уменьшить K_P :

$$\eta_1^{(2)} = K_P \frac{|\sigma_{\text{max}} - \sigma|}{|\sigma_{\text{max}}|} \frac{1}{|n - n_{\text{шаг назад}}|}. \quad (5)$$

ЕСЛИ переходный процесс завершился, И кривая скорости не достигла кривой задания, ТО необходимо увеличить K_P . Скорость $\eta_1^{(2)}$ вычисляется по формуле (5).

Описание эксперимента

Эксперименты по применению нейросетевого настройщика проводили на модели электропривода прокатной клетки, обеспечивающего вращение прокатных валков. Модель построена по техническим параметрам двухвалковой реверсивной клетки 1000 (рис. 4). Электродвигатель, обеспечивающий вращение прокатных валков, имеет следующие характеристики: номинальная мощность — 3,5 МВт, номинальный ток якоря — 3865 А, пределы регулирования скорости вращения — 0...60/150 мин⁻¹, номинальное напряжение якоря — 997 В. Для возможности изменения параметров механической части электропривода блок, отвечающий за моделирование механики, реализован в виде s -функции Int .

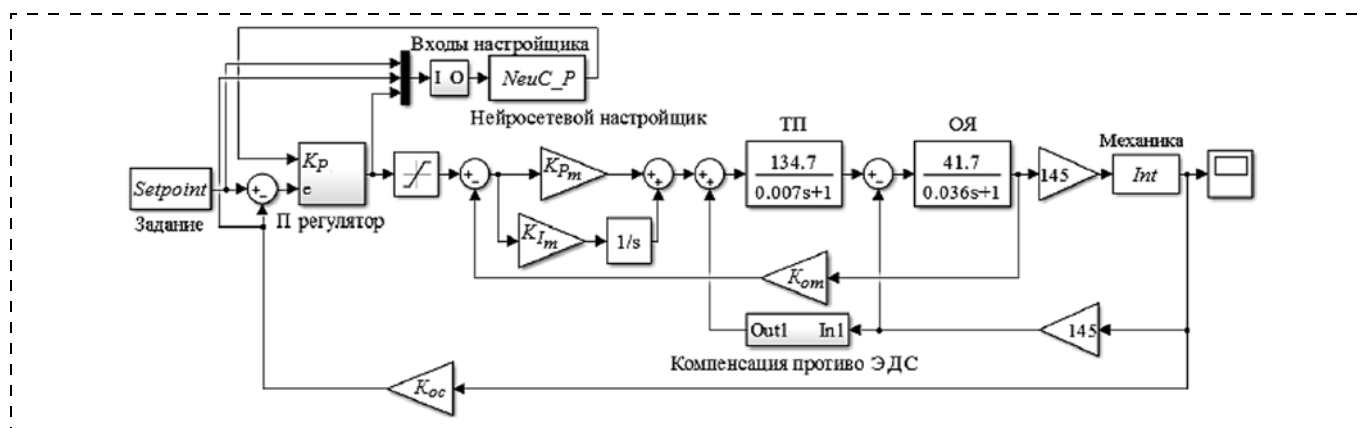


Рис. 4. Модель электропривода постоянного тока прокатной клетки

Нейросетевой настройщик также реализован с использованием s -функции $neuC_P$.

На рис. 4 K_{Pm} (0,489) и K_{Im} (13,649) — коэффициенты ПИ регулятора тока, значения которых были рассчитаны в соответствии с настройкой конту-

Результаты первой серии экспериментов

Δg , В/мс	K_{Pstart}	K_{Pfinal}	ΔK_P , %	n
Ступенчатое задание	2,6175	1,735	0,6	9
	0,8725	1,744	0,1	10
8	2,6175	1,74	0,3	10
	0,8725	1,74	0,3	8
0,8	2,6175	1,735	0,6	11
	0,8725	1,73	0,8	12
0,08	2,6175	1,73	0,8	8
	0,8725	1,75	0,3	7
0,04	2,6175	1,71	2	16
	0,8725	1,7	2,6	13
0,008	2,6175	1,745	0	7
	0,8725	1,71	2	6

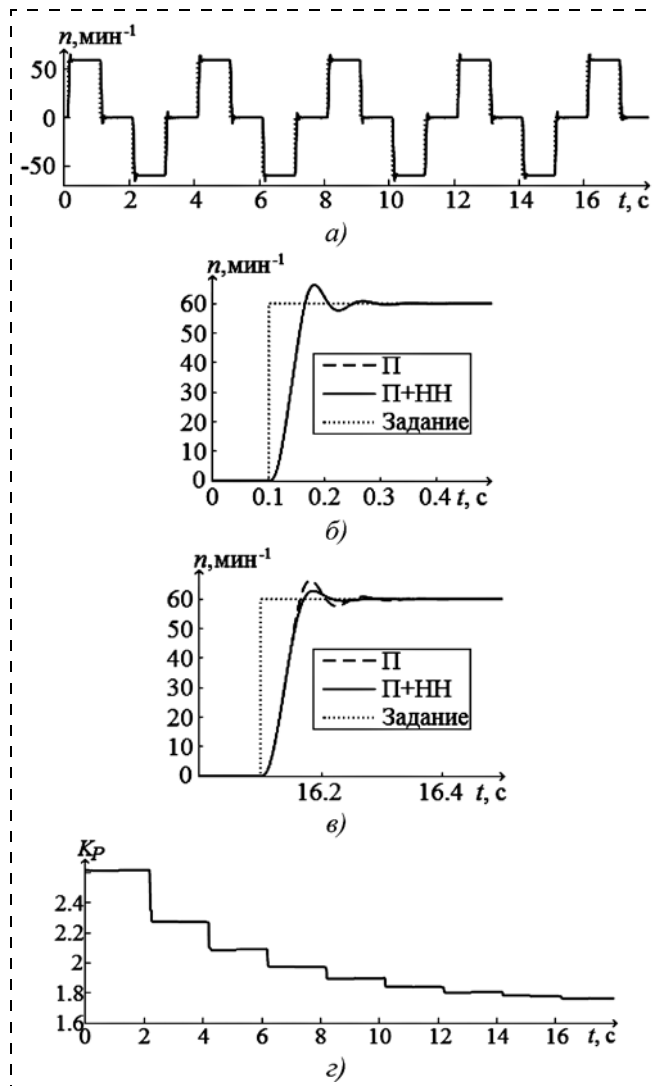


Рис. 5. Результаты первой серии экспериментов ($K_{Pstart} = 2,6175$): а — частота вращения, б — первый переходный процесс, в — последний переходный процесс, г — коэффициент усиления регулятора скорости

ра на технический оптимум. На этот же оптимум ($K_P = 1,745$) был настроен и П регулятор контура скорости, реализованный в подсистеме "П регулятор". Модель обмотки якоря представляет собой апериодическое звено первого порядка со значениями параметров $K_A = 41,7$ и $T_A = 0,036$ с. Механическая часть электропривода представлена одной массой, описываемой интегрирующим звеном ($J = 4,798 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$). Оно реализовано в виде s -функции, поскольку J изменяет свое значение непосредственно в процессе моделирования. Коэффициент обратной связи по скорости K_{oc} равен 0,637; коэффициент обратной связи по току $K_{от}$ равен $9,407 \cdot 10^{-4}$.

Нейросетевой настройщик также реализован в виде s -функции "NeuC_P". Его входные сигналы (скрыты в блоке "Входы настройщика") включают в себя: задание по скорости, действующее значение скорости и выход П регулятора скорости. Также в блоке "Входы настройщика" реализуются задержки действующего значения скорости на Δt и $2\Delta t$ с. Выход нейросетевого настройщика совпадает с выходом нейронной сети.

Задание по скорости реализовано с помощью s -функции *Setpoint* и представляет собой следующую последовательность уставок: 0 мин^{-1} (0 В) $\rightarrow 60 \text{ мин}^{-1}$ (4 В) $\rightarrow 0 \text{ мин}^{-1}$ (0 В) $\rightarrow -60 \text{ мин}^{-1}$ (-4 В).

Для демонстрации работоспособности настройщика в различных условиях работы электропривода интенсивность нарастания картины задания (Δg) для различных опытов изменялась от 0,008 В/мс до ступенчатого задания.

Проводили две серии экспериментов. В первой серии эксперимент начинался с неоптимальной настройкой регулятора (K_{Pstart}) для текущих параметров привода. Нейросетевой настройщик за n переходных процессов (учитывалось число разгонов электропривода со скорости 0 мин^{-1} до 60 (-60) мин^{-1}) возвращал настройку П регулятора скорости (K_{Pfinal}). Рассчитана относительная разница конечного и номинального коэффициентов П регулятора скорости (ΔK_P). Результаты первой серии экспериментов отражены в таблице.

На рис. 5 изображены результаты эксперимента с начальным $K_{Pstart} = 2,6175$ и ступенчатым заданием. За девять переходных процессов в контуре скорости настройщику удалось вернуть K_P к оптимальному значению с ошибкой $\Delta K_P = 0,6$ %, что позволило улучшить качество последнего переходного процесса относительно первого.

Во второй серии экспериментов моделировалось изменение момента инерции электропривода (рис. 6). Нейросетевой настройщик должен был компенсировать дрейф момента инерции электропривода, изменяя настройку регулятора скорости. На графиках приведены результаты эксперимента со ступенчатым заданием. На рис. 6 $\Delta \sigma$ — это относительная разность фактического и заданного оператором перерегулирования.

Система с использованием нейросетевого настройщика (П + НН), по сравнению с системой без настройки (П), во всех экспериментах позволила сохранить требуемое перерегулирование во время дрейфа механической части электропривода. Также проводили эксперименты для интенсивностей (8; 0,8; 0,08; 0,04; 0,008), в каждом из них нейросетевой настройщик поддерживал перерегулирование в допустимых пределах.

Перейдем к экспериментам на физической модели электропривода постоянного тока.

Эксперименты по применению нейросетевого настройщика для системы подчиненного регулирования скорости электродвигателя постоянного тока проводили на экспериментальном стенде, состоящем из персонального компьютера (ПК) и лаборатории NI ELVIS II с установленной платой Quanser DCMCT. NI ELVIS II подключается к ПК с помощью USB-кабеля.

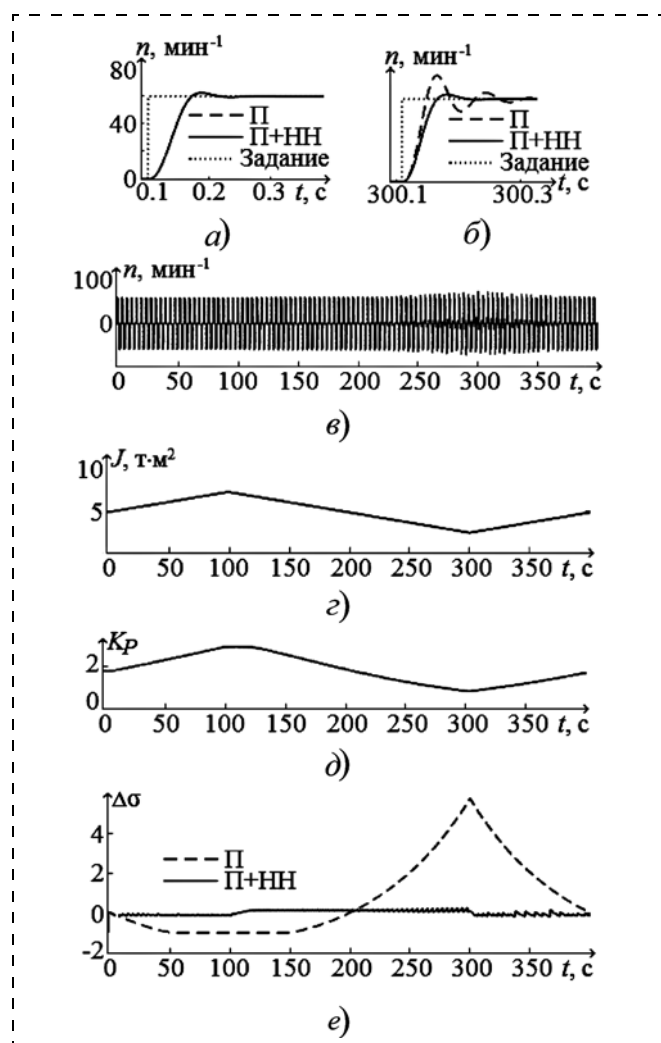


Рис. 6. Результаты второй серии экспериментов: а — первый переходный процесс; б — переходный процесс при максимальном изменении J ; в — частота вращения; г — момент инерции; д — коэффициент усиления регулятора скорости; е — относительная разность фактического и заданного оператором перерегулирования

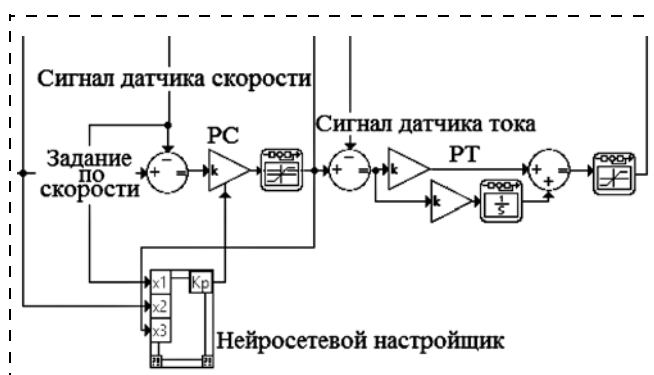


Рис. 7. Система управления электроприводом постоянного тока

Плата Quanser DCMCT оснащена электродвигателем постоянного тока с энкодером и маховиком на валу электродвигателя. Управление двигателем реализуется изменением питающего напряжения с применением широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

В программном пакете LabVIEW 2013 была построена система управления. Она состоит из регулятора тока РС, регулятора тока РТ и нейросетевого настройщика (рис. 7).

Выходом системы управления является сигнал задания, подаваемый на преобразователь напряжения.

Картина уставок представляет собой следующую последовательность смен заданий по скорости: $0 \text{ мин}^{-1} \rightarrow 100 \text{ мин}^{-1} \rightarrow 0 \text{ мин}^{-1} \rightarrow -100 \text{ мин}^{-1}$. При этом на скорости 100 мин^{-1} электропривод работает $1,25 \text{ с}$, а на скорости 0 мин^{-1} — 1 с . Смена задания происходит в виде линейно нарастающего сигнала, причем значение задания по скорости 100 мин^{-1} достигается за $1/8 \text{ с}$.

Нейросетевой настройщик реализован в виде программного кода MATLAB и импортирован в LabVIEW с помощью узла Математики (MathScript Node).

Параметры регулятора тока ($K_{Pm} = 8,33$, $K_{Im} = 1670$) рассчитаны в соответствии с настройкой на технический оптимум. Для П регулятора скорости оптимальным значением K_p является $0,006$. На рис. 8 представлены переходные процессы в кон-

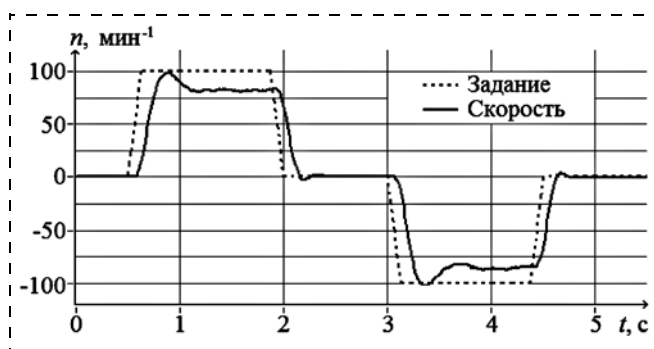


Рис. 8. Результаты эксперимента с оптимальными параметрами ПИ регулятора тока и П регулятора скорости

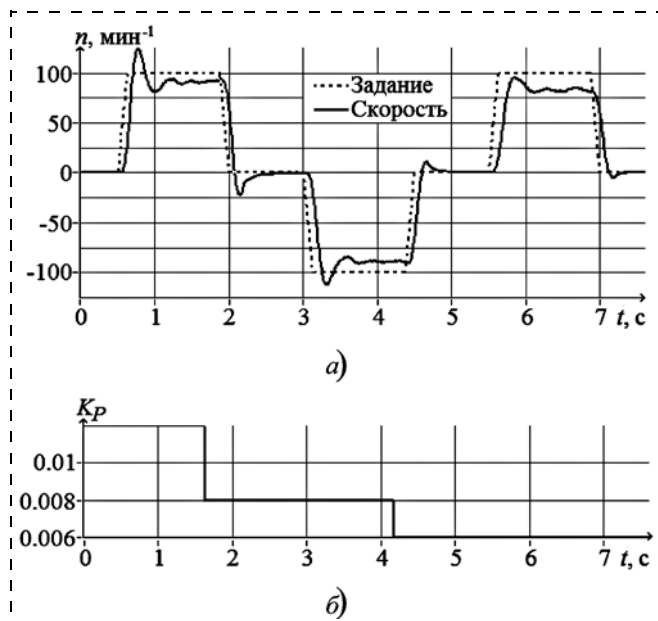


Рис. 9. Результаты эксперимента с оптимальными параметрами ПИ регулятора скорости и вдвое увеличенным параметром П регулятора тока:
а — частота вращения; б — коэффициент усиления регулятора скорости

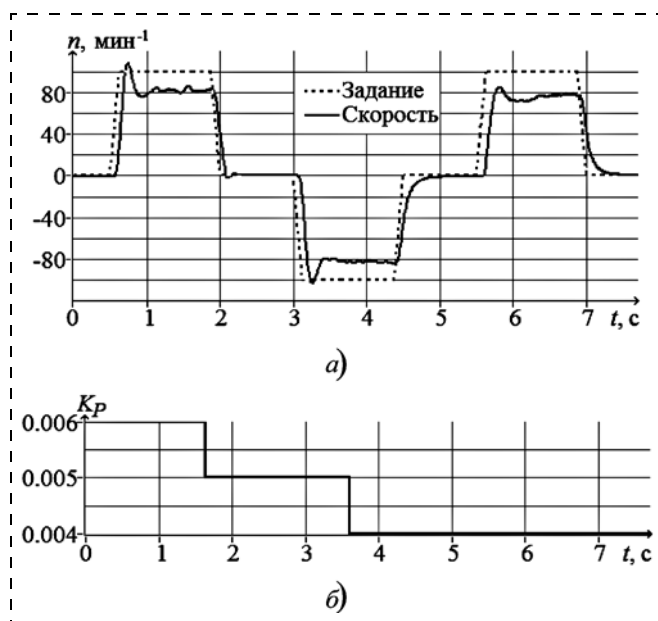


Рис. 10. Результаты эксперимента с уменьшенным моментом инерции электропривода:
а — частота вращения; б — коэффициент усиления регулятора скорости

турах скорости и тока при оптимальных параметрах регуляторов. Перерегулирование равно 0, а статическая ошибка — 15 %, которая возникает из-за большого статического момента относительно момента вращения двигателя. В данном случае устранить статическую ошибку, используя регулятор скорости П типа, невозможно. Таким образом, для проведения экспериментов по применению нейросетевого настройщика на натурном стенде база правил была доработана с использованием значе-

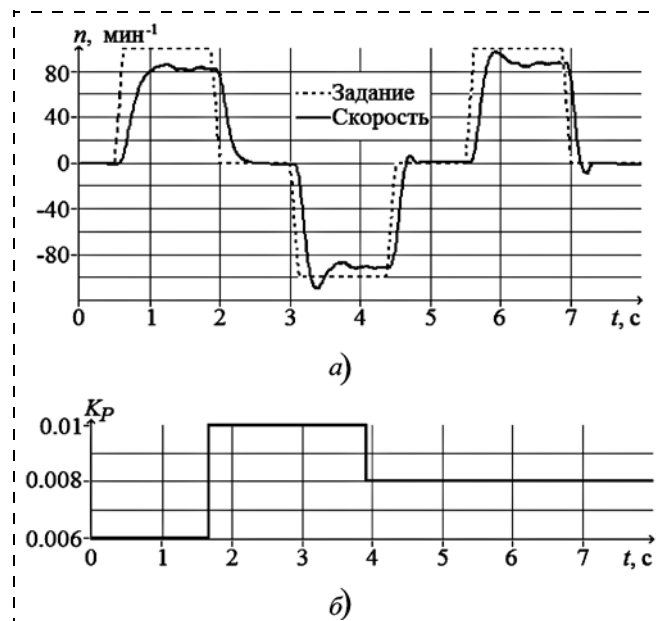


Рис. 11. Результаты эксперимента с увеличенным моментом инерции электропривода:
а — частота вращения; б — коэффициент усиления регулятора скорости

ния статической ошибки предыдущего переходного процесса в качестве установившегося режима.

На рис. 9 приведены результаты эксперимента, в котором начальное значение K_p было увеличено вдвое ($K_p = 0,012$) относительно оптимального значения. Нейросетевой настройщик вернул значение K_p регулятора скорости к оптимальному за четыре смены задания по скорости. Это позволило снизить перерегулирование в контуре скорости на 25 %.

В ходе эксперимента, в котором начальное значение K_p было уменьшено вдвое ($K_p = 0,003$) относительно оптимального значения, нейросетевой настройщик вернул значение K_p регулятора скорости к оптимальному за три смены задания по скорости. Это позволило вернуть необходимую динамику контура скорости.

На рис. 10 приведены результаты эксперимента со сниженным моментом инерции электропривода (это достигалось снятием маховика). Нейросетевой настройщик, в соответствии с базой правил, определил новое оптимальное значение K_p , что позволило снизить перерегулирование на 8 %.

На рис. 11 приведены результаты эксперимента с увеличенным вдвое моментом инерции электропривода (это достигалось установкой маховика большей массы). Нейросетевой настройщик, в соответствии с базой правил, нашел новое значение K_p , что позволило вернуть необходимую динамику электропривода.

Заключение

По результатам опытов можно сделать вывод о том, что нейросетевой настройщик достаточно

эффективно применен при решении задачи настройки регулятора скорости. Результаты достигнуты как на математической модели электропривода, так и на экспериментальном стенде. Целью дальнейшего развития нейросетевого настройщика в системе управления электроприводом прокатной клетки ставится применение его для компенсации возмущений, вызываемых захватом заготовки.

Список литературы

1. Kun E., Veisz T. S. Energy efficiency enhancement in the Hot Rolling Mill // Materials Science and Engineering. 2014. N. 3.2. P. 43–50.
2. Stashinov Y. P. On the issue of control system adjustment of a direct current drive on the modular optimum. Part 1 // Russian Electrical Engineering. 2016. N. 87. 1. P. 1–5.
3. Ротач В. Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 396 с.
4. Новоселов Б. В. и др. Автоматы-настройщики следящих систем. М.: Энергия, 1975. 264 с.
5. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высшая школа, 1989. 263 с.
6. Graham A. E., Young A. J., Xie S. Q. Rapid tuning of controllers by IFT for profile cutting machines // Mechatronics. 2007. Vol. 17. N. 2. P. 121–128.
7. Abedini S., Zarabadipour H. Tuning of an optimal PID controller with iterative feedback tuning method for DC motor // 2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation. IEEE, 2011. P. 611–615.
8. Краснодарец Л. А., Олейников А. М. ПИД регулятор как платформа для реализации адаптивных законов управления электроприводом // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. № 12 (17). С. 809–816.
9. Shahgholian G. et al. Analysis of speed control in DC motor drive by using fuzzy control based on model reference adaptive control // 13th International Conference on ECTI-CON. IEEE, 2016. P. 1–6.
10. Li Z. Model reference adaptive controller design based on fuzzy inference system // Journal of Information & Computational Science. 2011. Vol. 8.9. P. 1683–1693.
11. Nath K. et al. Speed Control of Neural Network Based Energy Efficient DC Drive // Second International Conference on ICACCE. IEEE, 2015. P. 318–323.
12. Zhang S. M., Zhou X., Yang L. Adaptive PID regulator based on neural network for DC motor speed control. 2011 International Conference on ICECE. IEEE, 2011. P. 1950–1953.
13. Fan L., Liu Y. Fuzzy Self-Tuning PID Control of the Main Drive System for Four-High Hot Rolling Mill // Journal of Advanced Manufacturing Systems. 2015. Vol. 14. P. 01. P. 11–22.
14. Ланграф С. В. и др. Динамика электропривода с нечетким регулятором // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 316. № 4. С. 168–173.
15. Черный С. П., Новак Д. А. Нечеткая многокаскадная система управления электроприводом постоянного тока // Электротехнические комплексы и системы управления. 2012. № 4. С. 56–60.
16. Sundareswaran K., Vasu M. Genetic tuning of PI controller for speed control of DC motor drive // Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology. IEEE, 2000. Vol. 1. P. 521–525.
17. Bindu R., Namboothiripad M. K. Tuning of PID controller for DC servo motor using genetic algorithm // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012. Vol. 2. N. 3. P. 319–314.
18. Allaoua B., Gasbaoui B., Mebarki B. Setting up PID DC motor speed control alteration parameters using particle swarm optimization strategy // Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. 2009. Vol. 14. P. 19–32.
19. Allaoua B., Laoufi A., Gasbaoui B., Abderrahmani A. Neuro-Fuzzy DC Motor speed Control Using Particle Swarm Optimization // Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. 2009. Vol. 15. P. 1–18.
20. Mishra A. K. et al. Speed control of DC motor using artificial bee colony optimization technique // International Conference on CARE. IEEE, 2013. P. 1–6.
21. Das K. R., Das D., Das J. Optimal tuning of PID controller using GWO algorithm for speed control in DC motor // International Conference on ICSTI. IEEE, 2015. P. 108–112.
22. Madadi A., Motlagh M. M. Optimal control of DC motor using grey wolf optimizer algorithm // TJEAS Journal-2014-4-04/373-379. 2014. Vol. 4. N. 4. P. 373–379.
23. Еременко Ю. И., Глушенко А. И., Петров В. А. О нейросетевой адаптации параметров ПИ-регулятора контура тока системы управления прокатной клетью в реальном времени // Системы управления и информационные технологии. 2016. № 3 (65). С. 62–68.
24. Еременко Ю. И., Глушенко А. И. О разработке метода выбора структуры нейронной сети для решения задачи адаптации параметров линейных регуляторов // Управление большими системами. 2016. Вып. 62. С. 75–123.
25. Еременко Ю. И., Поleshchenko Д. А., Глушенко А. И. О разработке метода определения значений задержек входных сигналов нейронной сети при реализации нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 10. С. 157–168.

Concerning the Use of a Neural Tuner for Adjustment of the Speed P-controller of a Rolling Mill's Main Drive

Yu. I. Eremenko, erem49@mail.ru✉, A. I. Glushchenko, strondutt@mail.ru,
V. A. Petrov, 79040882508@ya.ru,

Department of Automated and Information Control Systems,
Sary Oskol Technological Institute named after Ugarov, MISIS National University
of Science and Technology (branch), Sary Oskol, 309516, Russian Federation

Corresponding author: Eremenko Yuriy I., Professor, Sary Oskol Technological Institute
named after Ugarov, MISIS National University of Science and Technology (branch),
Sary Oskol, 309516, Russian Federation, e-mail: erem49@mail.ru

Received on March 23, 2017

Accepted on April 14, 2017

Rolling production is one of the most energy-consuming sectors of the metallurgical industry. The most powerful plants are the rolling mills producing rough rolling of the steel casts. They are based on the technology of the reverse rolling. It requires variation of the roll mill parameters. Such a variation may also be due to replacement of the worn out rolls. So, the controllers

with constant parameters usage results in the deterioration of the transient quality for the rolling mill main drive. An adaptive control system can be developed to solve the problem. A brief analysis of the linear controller tuners is presented in this research and a neural tuner is proposed to solve the problem. It combines an artificial neural network and a rule base. It does not require identification of the plant model or use of the test signals. In this paper the authors consider a control system for the main DC electric drive of a two-roll reversing rolling mill. A structure for the neural network is selected and the rule base is described. It defines the moments, when a controller should be adjusted (training of the neural network) as well as an appropriate learning rate. Experiments for application of the neural tuner were conducted using the rolling mill DC electric drive model, as well as a physical model of this drive. An analysis of the experimental results shows, that the neural tuner adjusts the speed of the controller effectively. The purpose of the further research is to apply the neural tuner to compensate for the disturbances acting on the rolling mill and caused by the steel cast engagement.

Keywords: controller parameters' tuning, speed P-controller, rolling mill, DC drive, adaptive control, multiloop control, neural network, rule base, neural tuner, speed loop

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 15-07-06092).

For citation:

Eremenko Y. I., Glushchenko A. I., Petrov V. A. Concerning the Use of a Neural Tuner for Adjustment of the Speed P-controller of a Rolling Mill's Main Drive, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 10, pp. 685—692.

DOI: 10.17587/mau.18.685-692

References

1. Kun E., Veisz T. S. Energy efficiency enhancement in the Hot Rolling Mill, *Materials Science and Engineering*, 2014, no. 3.2, pp. 43—50.
2. Stashinov Y. P. On the issue of control system adjustment of a direct current drive on the modular optimum. Part 1, *Russian Electrical Engineering*, 2016, no. 87.1, pp. 1—5.
3. Rotach V. Ja. *Teorija avtomaticheskogo upravlenija* (Theory of automatic control: a textbook for high schools), Moscow, Publishing house of MJeI, 2008, 396 p. (in Russian).
4. Novoselov B. V. et al. *Avtomaty-nastrojshhiki sledjashhih sistem* (Automatic tuners for servo systems), Moscow, Jenergiya, 1975, 264 p. (in Russian).
5. Aleksandrov A. G. *Optimal'nye i adaptivnye sistemy* (Optimal and adaptive control systems), Moscow, Vysshaja shkola, 1989, 263 p. (in Russian).
6. Graham A. E., Young A. J., Xie S. Q. Rapid tuning of controllers by IFT for profile cutting machines, *Mechatronics*, 2007, vol. 17, no. 2, pp. 121—128 (in Russian).
7. Abedini S., Zarabadipour H. Tuning of an optimal PID controller with iterative feedback tuning method for DC motor, *2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation, IEEE*, 2011, pp. 611—615.
8. Krasnodubec L. A., Olejnikov A. M. PID reguljator kak platforma dlja realizacii adaptivnyh zakonov upravlenija jelektrorivodom (PID controllers as a platform for implementation of the adaptive laws of the electric drive control), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 12, pp. 809—816 (in Russian).
9. Shahgholian G. et al. Analysis of speed control in DC motor drive by using fuzzy control based on model reference adaptive control, *13th International Conference on ECTI-CON, IEEE*, 2016, pp. 1—6.
10. Li Z. Model reference adaptive controller design based on fuzzy inference system, *Journal of Information & Computational Science*, 2011, vol. 8.9, pp. 1683—1693.
11. Nath K. et al. Speed Control of Neural Network Based Energy Efficient DC Drive, *Second International Conference on ICACCE, IEEE*, 2015, pp. 318—323.
12. Zhang S. M., Zhou X., Yang L. Adaptive PID regulator based on neural network for DC motor speed control, *2011 International Conference on ICECE, IEEE*, 2011, pp. 1950—1953.
13. Fan L., Liu Y. Fuzzy Self-Tuning PID Control of the Main Drive System for Four-High Hot Rolling Mill, *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 2015, vol. 14, no. 01, pp. 11—22.
14. Langraf S. V. i dr. *Dinamika jelektrorivoda s nechjotkim reguljatorom* (Fuzzy controller based drive dynamics), *Izvestija Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta*, 2010, vol. 316, no. 4, pp. 168—173 (in Russian).
15. Chernyj S. P., Novak D. A. *Nechetkaja mnogokaskadnaja sistema upravlenija jelektrorivodom postojannogo toka* (Fuzzy cascade control system for DC drive), *Jeletrotehnicheskie Kompleksy I Sistemy Upravlenija*, 2012, no. 4, pp. 56—60 (in Russian).
16. Sundareswaran K., Vasu M. Genetic tuning of PI controller for speed control of DC motor drive, *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology, IEEE*, 2000, vol. 1, pp. 521—525.
17. Bindu R., Namboothiripad M. K. Tuning of PID controller for DC servo motor using genetic algorithm, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 310—314.
18. Allaoua B., Gasbaoui B., Mebarki B. Setting up PID DC motor speed control alteration parameters using particle swarm optimization strategy, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 2009, vol. 14, pp. 19—32.
19. Alloua B., Laoufi A., Gasbaoui B., Abderrahmani A. Neuro-Fuzzy DC Motor speed Control Using Particle Swarm Optimization, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 2009, vol. 15, pp. 1—18.
20. Mishra A. K. et al. Speed control of DC motor using artificial bee colony optimization technique, *International Conference on CARE, IEEE*, 2013, pp. 1—6.
21. Das K. R., Das D., Das J. Optimal tuning of PID controller using GWO algorithm for speed control in DC motor, *International Conference on ICSCIT, IEEE*, 2015, pp. 108—112.
22. Madadi A., Motlagh M. M. Optimal control of DC motor using grey wolf optimizer algorithm, *TJEAS Journal-2014-4-04/373-379*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 373—379.
23. Eremenko Ju. I., Glushhenko A. I., Petrov V. A. *O nejrosetevoj adaptacii parametrov PI-reguljatora kontura toka sistemy upravlenija prokatnoj klet'ju v real'nom vremeni* (Rolling mill current control loop pi-controller parameters adaptation based on neural tuner), *Sistemy Upravlenija i Informacionnye Tehnologii*, 2016, no. 3 (65), pp. 62—68 (in Russian).
24. Eremenko Ju. I., Glushhenko A. I. *O razrabotke metoda vybora struktury nejronnoj seti dlja reshenija zadachi adaptacii parametrov linejnyh reguljatorov* (On development of neural network structure selection method to solve linear controllers parameters adjustment problem), *Upravlenie Bol'shimi Sistemami*, 2016, iss. 62, pp. 75—123 (in Russian).
25. Eremenko Ju. I., Poleshhenko D. A., Glushhenko A. I. *O razrabotke metoda opredelenija znachenij zaderzhek vhodnyh signalov nejronnoj seti pri realizacii nejrosetevogo optimizatora parametrov PI-reguljatora* (On development of method to calculate time delay values of neural network input signals to implement PI-controller neural tuner), *Izvestija JuFU. Tehnicheskie Nauki*, 2015, no. 10, pp. 157—168 (in Russian).