

УДК 629.429.3:621.313

А. С. МАСЛИЙ (УКРТРАНССИГНАЛ)

ООО НКП «Укртрансигнал», ул. Луи Пастера, 2 г. Харьков, эл. почта: an_com@ukr.net,
ORCID: orcid.org/0000-0001-7188-3638

РАЗРАБОТКА НЕЙРОРЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРЕЛОЧНЫМ ПЕРЕВОДОМ НА БАЗЕ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТИПА

Введение и постановка проблемы

В настоящее время мировые производители стрелочных переводов (СП) не используют линейные двигатели (ЛД) в качестве исполнительных устройств для перевода стрелочных остриков, поэтому ещё не существует никаких решений для управления такими двигателями в СП. Хотя известные методы синтеза систем автоматического управления (САУ) электроприводами, как, например, модальное управление, позволяют создавать системы с достаточно высокими показателями регулирования, их практическая реализация связана с рядом технических трудностей. К ним относится необходимость измерения сложноизмеряемых координат, например, таких как упругий момент, невозможность в отдельных случаях реализовать на практике синтезированные параметры из-за ограничений, существующих в реальных электроприводах, по тем или иным причинам и др. Вполне естественная идея заменить применяемые линейные регуляторы нелинейными, которые при меньшем числе сигналов измеряемых координат обеспечивали бы необходимое исходное управляющее действие для объекта регулирования. Такую возможность обеспечивает нелинейный регулятор на основе прямонаправленной многослойной искусственной нейронной сети (ИНС), реализуемый в виде нейроконтроллера, функционирующего по принципу биологических нейронных сетей. Ввиду того, что в СП с линейным двигателем электромагнитного типа (ЛДЭМТ) при уменьшении зазора между остриком и рамным рельсом значительно возрастает сила [1, 2] и, соответственно, ускорение, возникает эффект удара остриком о рамный рельс. С целью устранения этого эффекта предлагается использовать регулируемый позиционный электропривод (ЭП) с ИНС, которая обеспе-

чивает заданную форму кривой скорости движения остриков.

Литературный обзор

Известны публикации по ИНС [3–5] и их применение в настоящее время приобретает всё большую популярность, но, во многих случаях, из-за специфики и сложности восприятия, предпочтения отдаются более простым способам реализации, зачастую, пренебрегая широкими возможностями, которые предоставляют нейронные сети [6–8]. Примеры создания систем нейросетевого управления электроприводом СП, опубликованные ранее, как например, в работе [9], в которой ставилась задача улучшения качества процесса перевода асинхронного частотно-регулируемого привода посредством такой САУ. С помощью нейроконтроллера удалось достигнуть точности позиционирования СП в пределах ± 0.1 мм. Время переходного процесса не превышало 4 с, что соответствует его инструкции по эксплуатации. Также удалось значительно уменьшить значения динамических нагрузок в механизме. Проведенные исследования определили перспективу применения более сложной нейросетевой САУ в СП.

Цель статьи

Разработка системой автоматического управления для электропривода стрелочного перевода на базе линейного ЭМП энергии, как основного инструмента при исследовании режимов работы предлагаемого электропривода, а также обоснование возможности применения нейроуправления для ЛДЭМТ.

Основной материал исследований

Зная обобщенные электрические координаты для рассматриваемой электромеханической системы, а также используя уравнение Лагранжа, ранее [2] была получена система уравнений, представляющая собой математическую модель ЛДЭМТ.

© Маслій А. С., 2017

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \frac{1}{\frac{\partial \Psi}{\partial i}} \cdot \left[E - ri - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \cdot v \right]; \\ \frac{dv}{dt} = \frac{F_{эл} + 2F_{пр} - F_c}{m}; \\ \frac{dx}{dt} = v. \end{cases} \quad (1)$$

где i – ток в обмотке ЛДЭМТ; Ψ – магнитный поток в обмотке ЛДЭМТ; r – активное сопротивление обмотки ЛДЭМП; E – напряжение питания электродвигателя; v – скорость движения якоря; x – перемещение якоря; m – масса якоря; $F_{эл}$ – сила тяги ЛДЭМТ; $F_{пр}$ – сила пружины; F_c – сила сопротивления.

Используя полученные геометрические [1] и электрические параметры ЛДЭМТ (1) можно «обучить» ИНС управлять объектом. Это возможно благодаря следующим свойствам ИНС: обучаемость, обобщение и универсальная аппроксимация [3, 4].

Как показано в работах [5-8] для управления электромеханическим объектом достаточно использовать ИНС структуры NN3-10-1, изображённой на рис. 1.

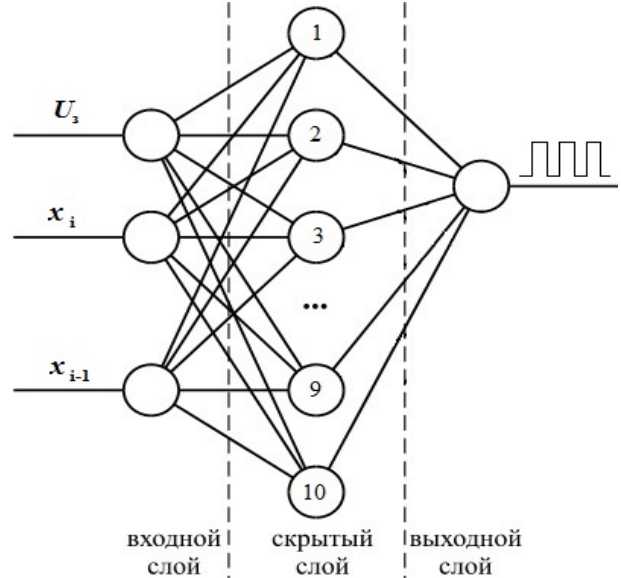


Рис. 1. Функциональное представление трехслойного персептрона структуры NN 3-10-1

Входными сигналами для ИНС выступают:
 – U_3 – сигнал задания на перемещение ЛДЭМТ;
 – x_i – текущее положение якоря ЛДЭМТ;
 – x_{i-1} – предыдущее положение якоря ЛДЭМТ.

Выходной сигнал – управляющее воздействие на входе ШИП.

В общем виде СУ с ИНС можно представить следующим образом:

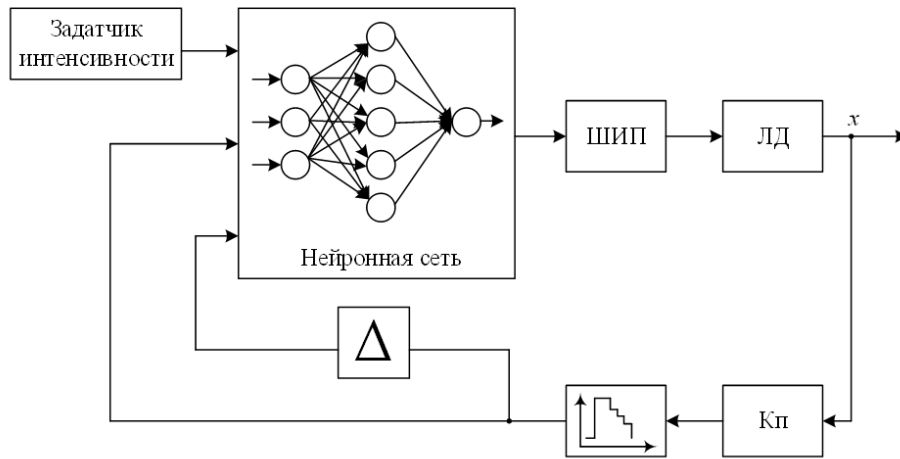


Рис. 2. Структурная схема СУ с поступающими на нейроконтроллер входными сигналами

Как показано в работах [10, 11], наилучшие результаты можно получить применяя сигмоидальную активационную функцию. Но из-за простоты практической (программной) реализации в качестве активационной выбрана функция, показанная на рис. 3. Шаг звена дискретизации – $\Delta = 0,01$ с.

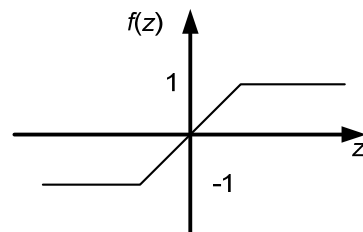


Рис. 3. Активационных функций нейронов скрытого слоя (кусочно-линейная с ограничением)

Для глобальной оптимизации параметров нейроконтроллера требуется использовать метод генетического алгоритма [11, 12]. Рассматривая нейронную сеть как единый набор параметров, генетический алгоритм способен осуществлять ее оптимальную настройку при размерности поискового пространства достаточной для решения большинства практических задач. При этом спектр рассматриваемых приложений гораздо превосходит возможности алгоритма обратного распространения ошибки. Кроме присущей ему глобальности, генетический алгоритм, как тренировочная процедура, обладает тем преимуществом по сравнению с алгоритмом обратного распространения ошибки, что он способен тренировать нейроконтроллер сразу по выходным характеристикам объекта, а не выходным сигналам нейронной сети.

Для синтеза нейроконтроллера используется следующее программное обеспечение:

- «RAD Studio 10.1 Berlin» для создания динамической библиотеки (подключаемой к программе «Mendel 4»), которая содержит описание нейронной сети, объекта управления и критерия обучения на языке Pascal;

- «Mendel 4» для расчёта весовых коэффициентов и сигналов сдвигов методом диплоидной схемы генетического алгоритма;

- «MendelToMatlab» для конвертирования результатов «Mendel 4» в формат Matlab.

- «Matlab 11» для моделирования работы интеллектуальной СУ на базе нейроконтроллера.

Оценка качества работы ЭП с ИНС осуществлялась по семи входным сигналам ($N = 7$): перемещение якоря – 0, 30, 60, 90, 120, 154, 180 мм.

В качестве критерия обучения была использована следующая функция:

$$E = \sum_{j=1}^N \int_0^{T_{nn}} |d_j - y_j| dt \quad (2)$$

где d_j, y_j – j -е значения вектора желаемых и фактических значений выходов соответственно; T_{nn} – время переходного процесса.

Учитывая диссипативные свойства системы, применение критерия вида (2) оказалось достаточным для получения требуемого результата. САУ с нейроконтроллером можно представить в виде функциональной схемы, которая показана на рис. 4.

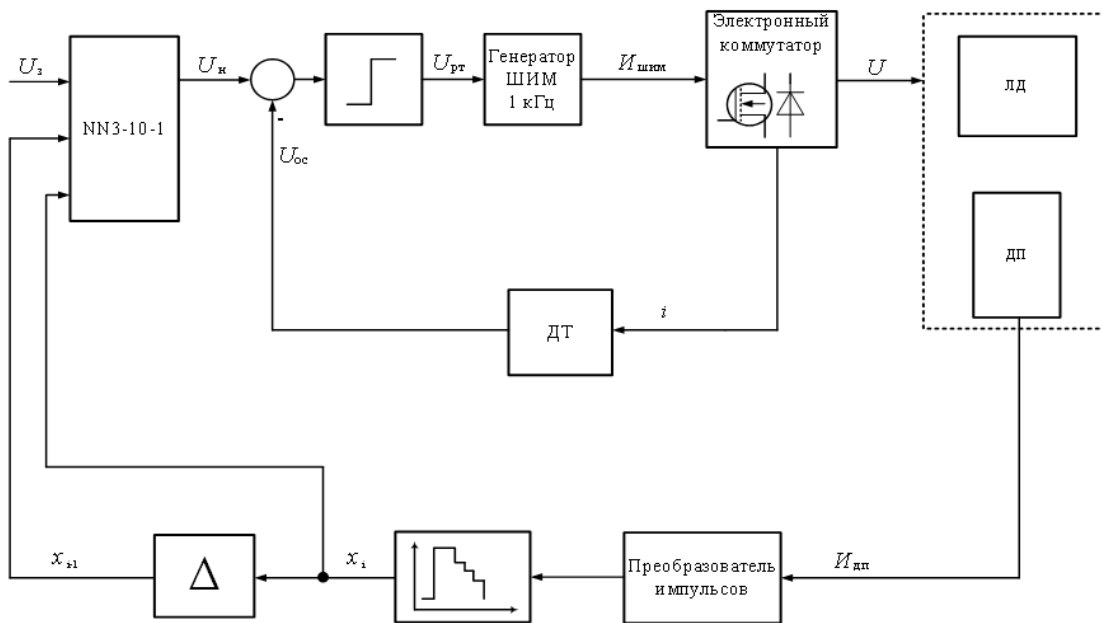


Рис. 4. Функциональная схема САУ ЛДЭМТ с нейроконтроллером

Оценивая сигнал задания, текущее (x_i) и предыдущее (x_{i-1}) положение якоря, нейроконтроллер формирует управляющее воздействие на входе ШИП, необходимое для работы объекта управления. Функция защиты по току реализована с помощью релейного элемента, ограничивающего его максимальное значение.

Для исследования работы привода на базе ЛДЭМТ с использованием синтезируемой системы нейронного управления для стрелочного перевода моношпального типа была создана его обобщенная имитационная модель, которая позволила получить диаграммы распределения электромагнитной силы, тягового усилия на

острыках, их перемещения и скорости (рис. 5-8).

ЛДЭМТ обеспечивает требуемое время перевода до 0,7 с.

Полученные осциллограммы подтверждают, что созданный регулируемый привод на базе

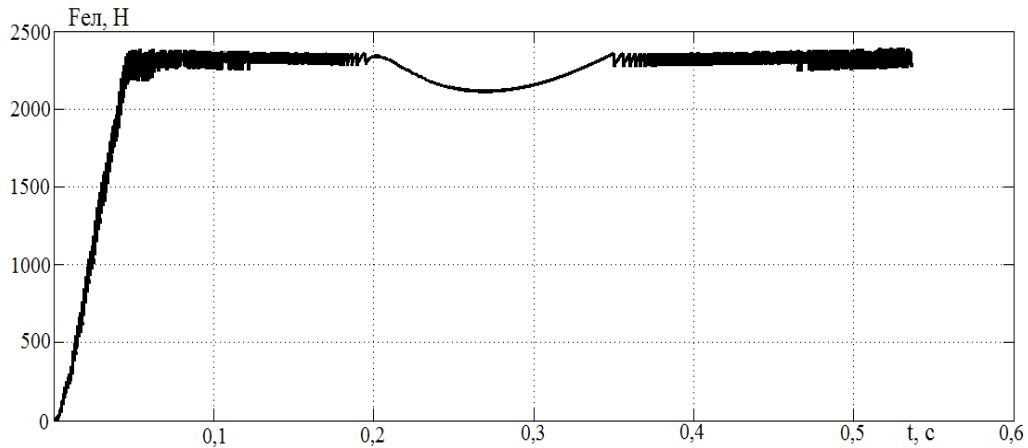


Рис. 5. Диаграмма электромагнитной силы ЛДЭМТ при работе СП

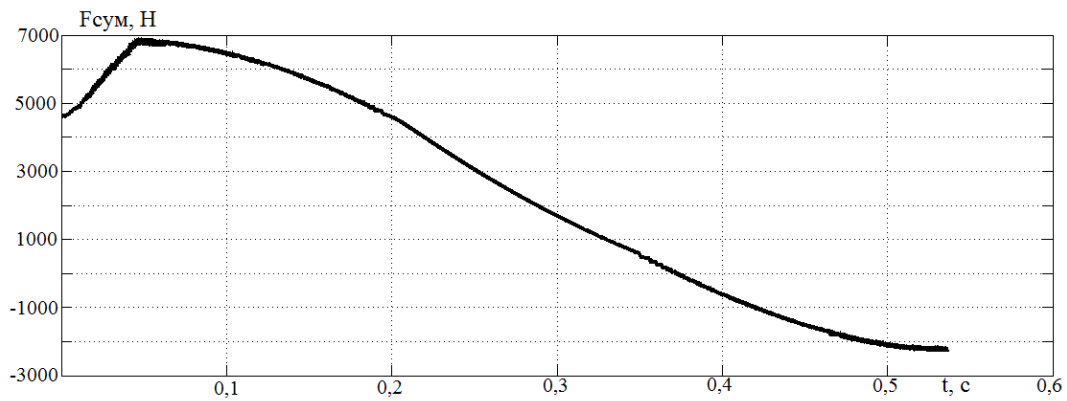


Рис. 6. Диаграмма тягового усилия на острых СП

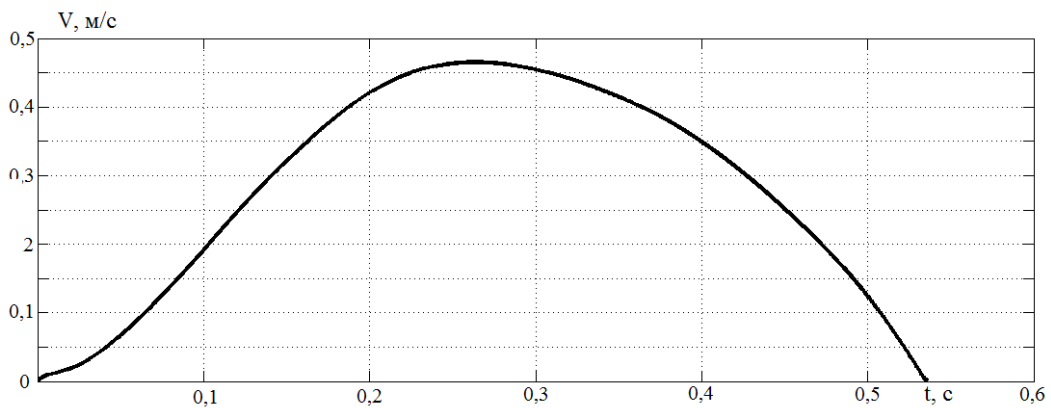


Рис. 7. Диаграмма скорости движения острых СП

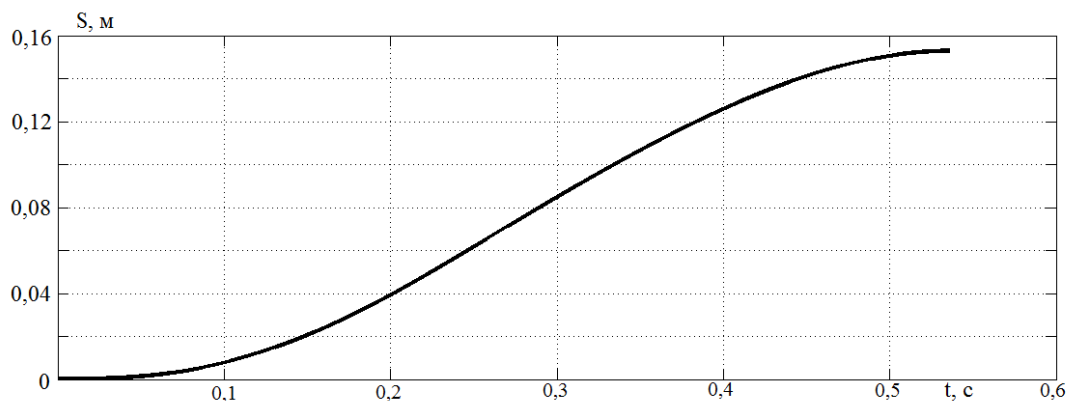


Рис. 8. Диаграмма перемещения остряков СП

Также во время перевода стрелки регулятор тока ограничивал его значение на уровне 5 А, при этом значение электромагнитной силы ЛДЭМТ (рис. 5) не превышало значение 2,5 кН, что в сумме с силой пружины в начале перевода позволило достичь значения в 7 кН (рис. 6). Диаграмма перемещения остряков (рис. 8) показывает реализацию безударного довода стрелки, что подтверждается и кривой скорости на рис. 7.

Выводы

Разработан нейрорегулятор СП моношпального типа на базе электромагнита, особенностью которого является: выбрана ИНС структуры NN3-10-1; рассмотрены возможные алгоритмы обучения и режимы его работы; решена задача управления скоростью движения ЛДЭМТ по всему пути движения якоря, КОНСПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буряковский С.Г. Расчет и оптимизация геометрических размеров линейного привода стрелочного перевода моношпального типа. / С.Г. Буряковский, Ар.С. Маслий, Ан.С. Маслий // Проблемы энергоресурсосбережения в электротехнических системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання – Кременчук: КрНУ. - 2015. – вип. 1(3). - С.65-67.

2. Буряковский С.Г. Математическая модель работы электропривода на базе линейного двигателя. / С.Г. Буряковский, Б.Г. Любарский, Ар.С. Маслий, Ан.С. Маслий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - Харків: УкрДУЗТ. – 2015. – №3. – С.59-65.

3. Сигеру. О. Нейроуправление и его приложения / О. Сигеру, Х. Марзуки, Ю. Рубия // М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.

4. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 221 с.

5. Клепиков В.Б. Синтез нейросетевой системы управления одномассовой электромеханической системы с отрицательным вязким трением при ограничении координат электропривода / В.Б. Клепиков,

троля его положения, и, как следствие, плавного довода остряков к рамному рельсу, при котором сила не превысила значение 10 Н; совместно с ИНС имитационная математическая модель СП с ЛДЭМТ была дополнена регулятором тока для защиты электродвигателя и силовых элементов электронного коммутатора.

Результаты моделирования показали возможность получения времени перевода – до 0,6 с. При этом скорость движения якоря достигала значения 0,465 м/с. Разработанная САУ позволила расширить функциональные возможности привода СП, применить микропроцессорную технику, создать новые средства защиты электродвигателя, уменьшить время перевода стрелки, а также дало возможность выбора необходимого режима работы СП.

REFERENCES

1. Buryakovskiy S.G. Raschet i optimizatsiya geometricheskikh razmerov lineynogo privoda strelochnogo perevoda monoshpального tipa. / S.G. Buryakovskiy. Ar.S. Masliy. An.S. Masliy // Problemi energoresursozberezhennya v elektrotekhnichnikh sistemakh. Nauka. osvita i praktika. Naukove vidannya – Kremenchuk: KrNU. - 2015. – vip. 1(3). - S.65-67.

2. Buryakovskiy S.G. Matematicheskaya model raboty elektroprivoda na baze lineynogo dvigatelya. / S.G. Buryakovskiy. B.G. Lyubarskiy. Ar.S. Masliy. An.S. Masliy // Informatsiyno-keruyuchi sistemi na zaliznichnomu transporti. - Kharkiv: UkrDUZT. – 2015. – №3. – S.59-65.

3. Sigeru. O. Neyroupravleniye i ego prilozheniya / O. Sigeru. Kh. Marzuki. Yu. Rubiya // M.: IPRZhR. 2000. – 272 s.

4. Kruglov V.V. Nechetkaya logika i iskusstvennyye neyronnyye seti / V.V. Kruglov. M.I. Dli. R.Yu. Golunov // M.: FIZMATLIT. 2001. – 221 s.

5. Klepikov V.B. Sintez neyrosetevoy sistemy upravleniya odnomassovoy elektromekhanicheskoy sistemy s otritsatelnyy vyazkim treniyem pri ograniichenii koordinat elektroprivoda / V.B. Klepikov.

© Маслий А. С., 2017

К.В. Махотило, И.В. Обруч // Печатные труды конференции с международным участием «Проблемы автоматизированного электропривода», Харьков, Основа, 1997, сс. 19—21.

6. Обруч И. В. Нейросетевая система управления электропривода электровоза АРП14 с учетом упругости кинематических связей / И. В. Обруч, Ю. Н. Кутовой // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – вып. 12 (1121). – С. 248 – 250.

7. Обруч И.В. Нейронное управление электро-механической системой с отрицательным вязким трением / В.Б. Клепиков, К.В. Махотило, И.В. Обруч, А.В. Осичев // Тр. конф. с междунар. участием [«Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика»], (Алушта, 16 – 21 сентября 1996). – Харьков: «Основа», – 1996. – С. 283 – 286.

8. Обруч И.В. Синтез нейросетевой системы управления одномассовой электромеханической системы с отрицательным вязким трением при ограничении координат электропривода / В.Б. Клепиков, К.В. Махотило, И.В. Обруч // Тр. конф. с междунар. участием [«Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика»], (Алушта, 15 – 20 сентября 1997). – Харьков: «Основа», – 1997. – С. 19 – 21.

9. Буряковский С.Г. Системы скалярного и нейросетевого управления электропривода стрелочного перевода / С.Г. Буряковский, И.В. Обруч, В.В. Смирнов // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». - Харків: НТУ «ХПИ». – 2010. - вып. 28. – С. 574-576.

10. Вороновский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев // Харьков, Основа, 1997 – 112 с.

11. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. // London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.

12. De Jong K. A. Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective //In: Procs of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms, 1985. – pp. 167 – 177.

K.V. Makhotilo. I.V. Obruch // Pechatnyye trudy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda». Kharkov. Osnova. 1997. ss. 19—21.

6. Obruch I. V. Neyrosetevaya sistema upravleniya elektroprivoda elektrovoza ARP14 s uchetom uprugosti kinematcheskikh svyazey / I. V. Obruch. Yu. N. Kutovoy // Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «Kharkovskiy politekhnicheskij institut». – Kharkov: NTU «KhPI». – 2015. – vyp. 12 (1121). – S. 248 – 250.

7. Obruch I.V. Neyronnoye upravleniye elektromekhanicheskoy sistemy s otritsatelnyim vyazkim treniyem / V.B. Klepikov. K.V. Makhotilo. I.V. Obruch. A.V. Osichev // Tr. konf. s mezhdunar. uchastiyem [«Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriya i praktika»]. (Alushta. 16 – 21 sentyabrya 1996). – Kharkov: «Osnova». – 1996. – S. 283 – 286.

8. Obruch I.V. Sintez neyrosetevoy sistemy upravleniya odnomassovoy elektromekhanicheskoy sistemy s otritsatelnyim vyazkim treniyem pri ogranichenii koordinat elektroprivoda / V.B. Klepikov. K.V. Makhotilo. I.V. Obruch // Tr. konf. s mezhdunar. uchastiyem [«Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriya i praktika»]. (Alushta. 15 – 20 sentyabrya 1997). – Kharkov: «Osnova». – 1997. – S. 19 – 21.

9. Buryakovskiy S.G. Sistemy skalyarnogo i neyrosetevogo upravleniya elektroprivoda strelochnogo perevoda / S.G. Buryakovskiy. I.V. Obruch. V.V. Smirnov // Visnik natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «Kharkivskiy politekhnichniy institut». - Kharkiv: NTU «KhPI». – 2010. - vyp. 28. – S. 574-576.

10. Voronovskiy G.K. Geneticheskiye algoritmy. iskusstvennyye neyronnyye seti i problemy virtualnoy realnosti / G.K. Voronovskiy. K.V. Makhotilo. S.N. Petrashev. S.A. Sergeyevev // Kharkov. Osnova. 1997 – 112 s.

11. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. // London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.

12. De Jong K. A. Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective //In: Procs of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms, 1985. – pp. 167 – 177.

Поступила в печать 24.05.2017.

Внутренний рецензент *Босый Д. А.*

Внешний рецензент *Хворост Н. В.*

Статья посвящена разработке системы управления электропривода стрелочного перевода на базе линейного электромеханического преобразователя энергии, как основного инструмента при исследовании режимов работы линейного двигателя электромагнитного типа. В статье решались следующие задачи: обоснование возможности применения нейроруавления для линейного двигателя электромагнитного типа; разработка нейроконтроллера для исследуемого типа двигателя; создание имитационной модели электропривода стрелочного перевода с использованием нейронной системы управления; получение динамических характеристик электропривода с нейроруавлением. Для управления электродвигателем предложено использовать интеллектуальную нейронную сеть структуры NN3-10-1, а в качестве активационной выбрана кусочно-линейная функция с ограничением.

Ключевые слова: интеллектуальная нейронная сеть; генетический алгоритм; система автоматического управления; линейный электродвигатель; математическая модель.

© Маслій А. С., 2017

УДК 629.429.3:621.313

А. С. МАСЛІЙ (УКРТРАНССИГНАЛ)

ТОВ НКП «Укртрансигнал», вул. Луї Пастера, 2, м. Харків, ел. пошта: an_com@ukr.net, ORCID: orcid.org/0000-0001-7188-3638

РОЗРОБКА НЕЙРОРЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СТІЛОЧНИМ ПЕРЕВОДОМ НА БАЗІ ЛІНІЙНОГО ДВИГУНА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ТИПУ

Стаття присвячена розробці системи управління електроприводу стрілочного переводу на базі лінійного електромеханічного перетворювача енергії, як основного інструменту при дослідженні режимів роботи лінійного двигуна електромагнітного типу. У статті вирішувалися наступні задачі: обґрунтування можливості застосування нейроуправління для лінійного двигуна електромагнітного типу; розробка нейроконтролера для досліджуваного типу двигуна; створення імітаційної моделі електроприводу стрілочного переводу з використанням нейронної системи управління; отримання динамічних характеристик електропривода з нейроуправлінням. Для управління електродвигуном запропоновано використовувати інтелектуальну нейронну мережу структури NN3-10-1, а в якості активаційної обрана частково-лінійна функція з обмеженням.

Ключові слова: інтелектуальна нейронна мережа; генетичний алгоритм; система автоматичного керування; лінійний електродвигун; математична модель.

Внутрішній рецензент *Босий Д. О.*Зовнішній рецензент *Хворост М. В.*

UDC 629.429.3:621.313

A. S. MASLII (UKRTRANSSIGNAL)

OLL Ukrtranssignal; str. Lui Pastera, 2, Kharkov, e-mail: an_com@ukr.net, ORCID: orcid.org/0000-0001-7188-3638

DEVELOPMENT OF THE NEUROR REGULATOR FOR THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE ARROW ON THE BASIS OF THE LINEAR ELECTROMAGNETIC TYPE ENGINE

The article is devoted to the development of the control system of the electric drive of the turnout based on the linear electromechanical energy converter, as the main tool in the investigation of the operation modes of the linear electromagnetic-type motor. The following problems were solved in the article: substantiation of the possibility of using a neural control for a linear motor of electromagnetic type; the development of a neural controller for the type of engine under study; creation of a simulation model of the electric drive of the turnout using the neural control system; obtaining dynamic characteristics of an electric drive with neural control. To control the electric motor it is suggested to use the intellectual neural network of the NN3-10-1 structure, and as the activation one a piecewise linear function with restriction is chosen.

Keywords: intelligent neural network; genetic algorithm; automatic control system; linear motor; mathematical model.

Internal reviewer *Bosyi D. O.*External reviewer *Khvorost M. V.*