4. Выводы

Внедрение метода нейроматематической прогнозируемой идентификации характеристик низкотемпературной ионизированной плазмы с использованием ансамбля нейронных сетей с нечеткой логикой для ионно-плазменной установки МАП-3 при напылении расплавленных высокотемпературных металлов для лопаток авиационных двигателей в ВИАМе (рис.14) позволила повысить точность идентификации напряжения, тока, давления [4,5,6].

1. Буянкин В.М. Применение нейронных сетей для управления "Нейросетевые методы повышения эффективности систем управления сложными элементами электротехнических установок" Издание LAMBERN Academic Publishing Germany, 2011г 265с.
2. Буянкин В.М. Нейроидентификация характеристик установки с ионно-плазменным напылением для нанесения жаростойких покрытий. 51-я научная конференция МФТИ "Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук". 2008 г.
3. Буянкин В.М. Нейроидентификация физических процессов при ионно-плазменном напылении (Приложения информатики в медицине, технике, экономике, и в естественных и гуманитарных науках). "Научно-техническая конференция Нейроинформатика- 2009" МИФИ.
4. Буянкин В.М. Нейроидентификация характеристик установки с ионно-плазменным напылением для нанесения жаростойких покрытий. Всероссийская научно-техническая конференция "Машиностроительные технологии" 2008 г. МГТУ им. Н.Э.Баумана
5. Буянкин В.М., Смирнов В.В. Нейроуправление ионизированной плазмой при технологических напылениях. Восьмая международная научная конференция "Нейросетевые технологии и их применение НСТП-2009". Донбасская государственная машиностроительная академия.
6. Буянкин В.М. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: "Нейросетевые методы повышения точности систем управления техническими объектами с нелинейными нечеткими характеристиками", Москва 2013г.
7. Проектирование элементов искусственного интеллекта для управления электроприводом, нейрорегуляторы 273-274 с. XVII Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». Тезисы докладов. – М: МГПИУ, 2019. – 472 с
8. V Buyankin . The syntheses of the system of ill-defined management for irradiation of current sidebar electric drive neuroregulator. International Federation of Automatic Control. IFAC Workshop Adaptation and Learning in Control and Signal Processing.(ALCOSP 2007) Saint Petersburg, Russia.
9. V Buyankin. Neuroprotection and Timely Troubleshooting of Electric Drive Equipment. Advances in Systems Science and Applications, [s.l.], v.18, n / 1, p. 132-141, may 2018. ISSN 1078-6236. Available at: <http://ijassa.ipu.ru/ojs/ijassa/article/view/573>. Date accessed: 25 may 2018. doi: <http://doi.org/10.25728/assa.2018.18.1.573>.

Буянкин В.М.

Проектирование элементов искусственного интеллекта на базе прогнозирующей нейронной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки для нейродиагностики работы электропривода

*МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-04-2020-23

idsp: ljjournal-04-2020-23

Аннотация

В статье рассмотрены традиционные методы диагностики по анализу частотных и фазовременных характеристик, анализу спектральных характеристик для диагностики

Рассматривается пример проектирования элементов искусственного интеллекта на базе прогнозирующей нейронной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки. Разработана система

нейродиагностики прогноза тока в обмотке возбуждения электродвигателя на несколько тактов вперед.

Введение, постановка задачи

При длительной работе электроприводов происходит износ оборудования, приводящий к нештатным и аварийным ситуациям. В таких случаях приходится распознавать, прогнозировать и определять неисправности, предсказывая будущие отказы. Прогнозирование неисправностей и оценка качества функционирования с выявлением возможных отказов элементов является довольно сложной и трудоемкой задачей. Для определения неисправностей разработано большое количество систем диагностики, однако не удастся определить весь спектр неисправностей. Такие задачи (в отличие от обычных методов диагностики) можно решать, используя интеллектуальные системы прогнозирования и распознавания на базе нейронных сетей, что делает незаменимой нейродиагностику для повышения надежности работы электропривода [1]. Целью построения нейросетевой диагностической системы является определение неисправных узлов с прогнозированием работоспособности, что позволяет повысить надежность и качество функционирования элементов электропривода.

Анализ традиционных методов диагностики

На структурной схеме (рис. 1) перечислены традиционные методы диагностики: анализ частотных и фазовременных характеристик, анализ спектральных характеристик, статистические методы. Недостатком этих традиционных методов диагностики является невозможность диагностирования работы технических объектов с непредсказуемыми нечеткими параметрами, с учетом износа элементов оборудования. Использование нейронных сетей и применение их в системах нейродиагностики позволит с большей точностью предсказывать аварийные ситуации в условиях неполной информации о статических и динамических характеристиках электроприводов.

Рис. 1. Структурная схема методов диагностики

В разработке системы нейродиагностики используются нейронная сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки. Система

нейродиагностики с прогнозированием представляет собой комбинированную систему с нейросетевым предсказанием (рис. 2).

Рис. 2. Комбинированная система нейродиагностики с нейропрогнозированием

Разработка прогнозирующей диагностики реализованной на базе нейронной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки

Работа исправного электропривода должна соответствовать номинальным статическим и динамическим характеристикам. При номинальной нагрузке электропривода должен иметь номинальное напряжение на якоре, номинальный ток, [2]. номинальную скорость вращения. Отклонение от номинальных параметров приводит к неисправностям, а иногда и к аварийным ситуациям работы электропривода. Неисправным будем считать электропривода, отклонения параметров которого превышают максимальные значения.

Разработаем систему нейродиагностики для прогноза на несколько тактов вперед тока в обмотке возбуждения $I_{ов}(n+1)$ и напряжения на якоре электродвигателя $U_{я}$ с использованием нейроидентификатора реализованного на нейронной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки [1]. Пусть имеется база данных, содержащая значения тока $I_{ов}$ таблица 1, (рис. 5).

Таблица 1.

База данных, содержащая значения тока $I_{ов}$

$I_{ов}(n-9)$	$I_{ов}(n-8)$	$I_{ов}(n-7)$	$I_{ов}(n-6)$	$I_{ов}(n-5)$	$I_{ов}(n-4)$	$I_{ов}(n-3)$	$I_{ов}(n-2)$	$I_{ов}(n-1)$	$I_{ов}(n)$	$I_{ов}(n+1)$
203мА	192мА	203мА	230мА	200мА	198мА	205мА	199мА	190мА	206мА	?

Рис. 5. Значения тока $I_{ов}$

Шесть строк обучающих выборок для нейронной сети состоит из четырех входных I_1, I_2, I_3, I_4 данных, а желаемым выходом являются данные последующего такта I_5 таблица 2. Обучение нейронной сети проводим в среде МАТЛАБ.

Таблица 2.

Данные обучения нейронной сети

I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
203	192	203	230	200
192	203	230	200	198
203	230	200	198	205
230	200	198	205	199
200	198	205	199	190
198	205	199	190	200

Прогнозирующая нейронная сеть имеет четыре входа и один выход (рис. 6).

Рис. 6. Нейронная сеть для прогнозирования тока в обмотке возбуждения электродвигателя

Система нейродиагностики для прогноза на такт вперед тока в обмотке возбуждения $I_5, I_{ов(н+1)}$ описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}
E_1 &= I_1 W_{11} + I_2 W_{12} + I_3 W_{13} + I_4 W_{14} + B_1; \\
E_2 &= I_1 W_{21} + I_2 W_{22} + I_3 W_{23} + I_4 W_{24} + B_2; \\
E_3 &= I_1 W_{31} + I_2 W_{32} + I_3 W_{33} + I_4 W_{34} + B_3; \\
E_4 &= I_1 W_{41} + I_2 W_{42} + I_3 W_{43} + I_4 W_{44} + B_4; \\
R_1 &= \tan \operatorname{sig} E_1; \\
R_2 &= \tan \operatorname{sig} E_2; \\
R_3 &= \tan \operatorname{sig} E_3; \\
R_4 &= \tan \operatorname{sig} E_4; \\
Y'_0 &= R_1 W'_1 + R_2 W'_2 + R_3 W'_3 + R_4 W'_4 + B'_1; \\
I_5 &= \tan \operatorname{sig} Y'_0,
\end{aligned} \tag{1}$$

где I_1, I_2, I_3, I_4 – входные сигналы нейронной сети; I_5 – выходной сигнал нейронной сети; Y'_0 – выходной сигнал нейронной сети; $E_1 \dots E_4$ – выходные сигналы первого слоя нейронов; $W_{11} \dots W_{44}$ – веса первого слоя нейронов; $B_1 \dots B_4$ – смещения первого слоя нейронов; $R_1 \dots R_4$ – сигналы на выходе блоков активации первого слоя нейронов; Y'_0 – сигнал на выходе второго слоя нейронов; $W'_1 \dots W'_4$ – веса второго слоя нейронов; B'_1 – смещение второго слоя нейронов.

После моделирования и обучения в среде MATLAB нейронной сети по алгоритму (рис. 7) получаем необходимые веса и смещения.

Рис. 7. Алгоритм моделирования и обучения нейронной сети

В результате обучения нейронной сети были получены следующие веса и смещения:

веса первого слоя нейронов:

$$W_{11} = -0,097; W_{12} = -0,0203; W_{13} = 0,186; W_{14} = 0,213;$$

$$W_{21} = -0,097; W_{22} = 0,213; W_{23} = 0,074; W_{24} = 0,202;$$

$$W_{31} = -0,097; W_{32} = -0,171; W_{33} = -0,092; W_{34} = -0,329;$$

$$W_{41} = 0,148; W_{42} = -0,029; W_{43} = 0,252; W_{44} = 0,145.$$

Веса второго слоя нейронов:

$$W_1' = 40,136; W_2'' = 40,765; W_3'' = -39,220; W_4'' = 40,293.$$

Смещения для первого слоя нейронов:

$$B_1 = -5,110; B_2 = -0,183; B_3 = 1,51; B_4 = -0,472.$$

Смещения для второго слоя нейронов:

$$B_1' = 38,585.$$

На рис. 8 приведен график зависимости ошибки обучения от числа эпох обучения.

Рис. 8. График зависимости ошибки обучения от числа эпох обучения

При тестировании и прогнозировании нейронной сети получаем будущее значение $I_5 = 200$. После предсказания будущего значения $I_{ов}(n+1)$ идет сравнение его с $I_{овн}$. Если разница между $I_{овн}$ и $I_{ов}(n+1)$ больше допустимого максимального значения, то переменной X_1 присваивается 1 иначе 0. Значение 1 сигнализирует об аварийной ситуации в обмотке возбуждения электродвигателя.

Выводы

При испытании работы прогнозирующей нейронной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки для нейродиагностики работы электропривода были получены адекватные и достоверные результаты.

1. Буянкин В.М. Применение нейронных сетей для управления "Нейросетевые методы повышения эффективности систем управления сложными элементами электротехнических установок" Издание LAMBERN Academic Publishing Germany, 2011г 265с.
2. Буянкин, В. М. Нейропрогностика и прогнозирование работоспособности оборудования электропривода с использованием нейронной сети // Контроль. Диагностика. — 2008. — №3. — С. 60—63.

3. Буянкин В. М., Семенов, В. С. Система нейрорегулирования с нейродиагностикой токового контура электропривода // Известия вузов. Машиностроение. — 2007. — №12. — С. 32—36.
4. Буянкин, В. М. Нейроидентификация, нейрорегулирование, нейропрогнозирование статических и динамических характеристик электропривода // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2010. — №5. — С. 24—29.
4. V Buyankin. Neuroprotection and Timely Troubleshooting of Electrive Drive Equipment. Advances in Systems Science and Applications, [s.l.], v.18, n / 1, p. 132-141, may 2018. ISSN 1078-6236. Available at: <http://ijassa.ipu.ru/ojs/ijassa/article/view/573>. Date accessed: 25 may 2018. doi: <http://doi.org/10.25728/assa.2018.18.1.573>.

Буянкин В.М.

**Нейрорегуляторы как элементы искусственного интеллекта для
автоматизированных систем управления электроприводом**

МГТУ им. Н.Э. Баумана

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-04-2020-24

idsp: ljjournal-04-2020-24

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы синтеза нейрорегуляторов для автоматизированных систем управления электроприводом. Существующие стандартные классические регуляторы: интегральный (И), интегрально пропорциональный (ПИ), пропорционально интегрально дифференциальный (ПИД) широко зарекомендовали себя благодаря простоте своей структуры и высокой надежности, однако они не могут оперативно самообучаться и перестраиваться при изменении нелинейных параметров электропривода. К нелинейным параметрам можно добавить большое разнообразие возмущающих воздействий действующих в процессе работы электропривода, которые сложно точно измерить и рассчитать. Классические регуляторы с жесткой структурой без самонастройки не могут обеспечить необходимых статических и динамических характеристик электропривода, поэтому вместо них актуально использовать нейрорегуляторы на базе нейронных сетей, которые являются элементами искусственного интеллекта. Нейрорегуляторы как элементы искусственного интеллекта - легко перестраиваются и переобучаются, изменяя свои коэффициенты и структуру, приспособившись к внешней окружающей среде [1,2].

И-нейрорегулятор

На рис. 1 представлен цифровой дискретный интегральный регулятор И - регулятор.

Рис. 1. Цифровой дискретный интегральный регулятор И-регулятор

Цифровой дискретный И-регулятор описывается следующим разностным уравнением:

$$\frac{Y(k) - Y(k-1)}{T_s} = X(k) \cdot K_I, \quad (1)$$

где K_I - интегральный коэффициент;

T_s - дискретность по времени.

В Z-преобразованном виде имеем:

$$Y(z)[1 - Z^{-1}] = X(z) \cdot K_I \cdot T_s \quad (2)$$