УДК 622.313.33

В.Г. Каширских, А.Н. Гаргаев

ДИАГНОСТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Двигатели постоянного тока (ДПТ) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, в связи с этим задача их ресурсосбережения посредством модернизации технического обслуживания является актуальной. Одним из наиболее эффективных и признанных методов решения данной задачи является применение технических средств диагностирования, позволяющих проводить техническое обслуживание электрооборудования на основании учёта его фактического технического состояния. При этом выявляется состояние оборудования, при котором дальнейшая работа может привести к его отказу, стать экономически нецелесообразной или опасной.

Постановка правильного диагноза состоянию электромеханической системы является не тривиальной задачей. Сложность ее решения определяется сложностью системы в целом, распределенностью ее подсистем, влиянием большого числа различных факторов, неопределенностью и взаи-

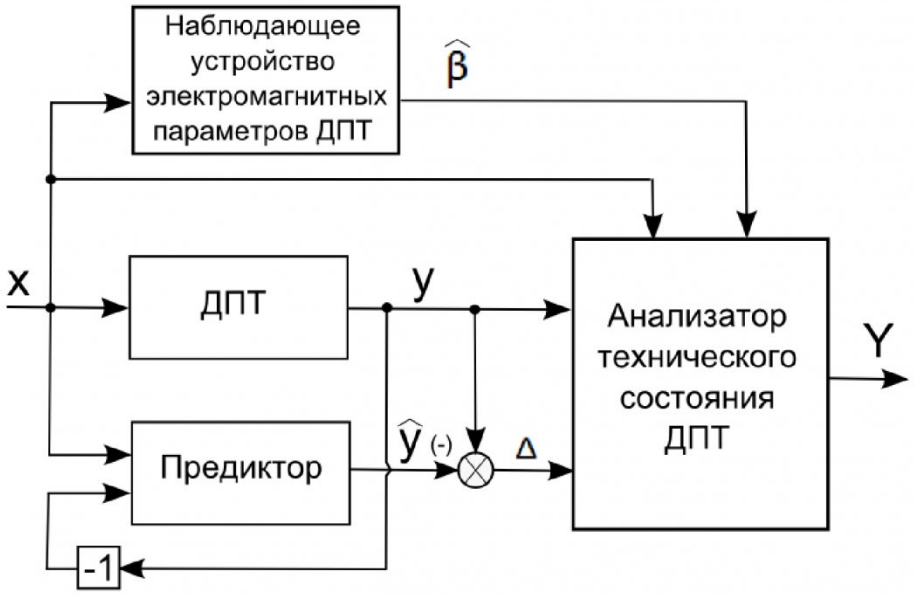

Рис. 1. Структура системы диагностики

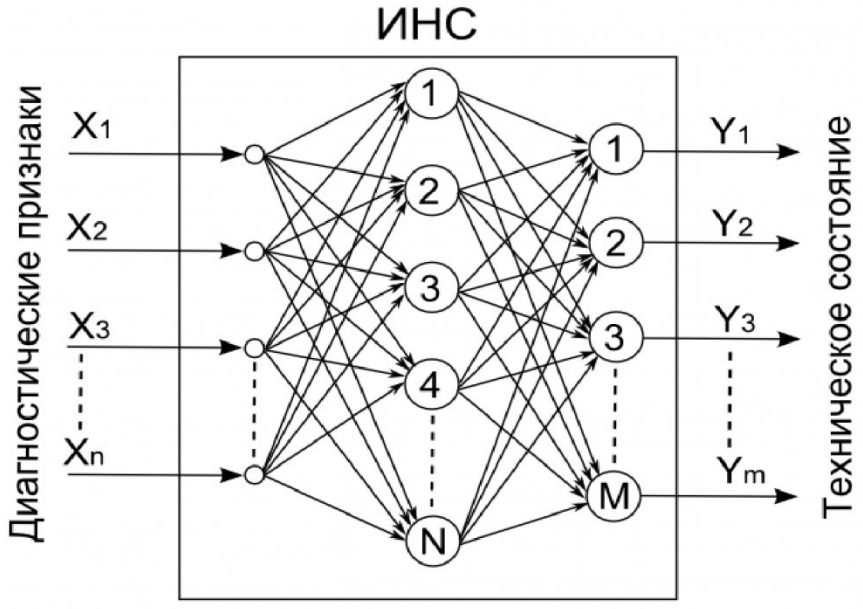

Рис. 2. Структура нейронного анализатора технического состояния ДПТ

мозависимостью текущего состояния элементов системы. Диагностика электродвигателей заключается в решении задачи классификации, когда определяется принадлежность входного набора диагностических признаков к одному из нескольких заранее известных классов технического состояния электродвигателя.

Структура системы диагностики на основе использования нейросетевого анализатора приведена на рис.1. Здесь **x** – вектор входных сигналов, **y** – вектор выходных сигналов, $\hat{\mathbf{y}}$ – предсказанный предиктором вектор выходных сигналов, $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ – вектор оцененных электромагнитных переменных, **Y** – выходной сигнал анализатора, **Δ** – ошибки предсказания предиктора.

Для создания анализатора технического состояния ДПТ (рис. 2) использованы искусственные нейронные сети (ИНС), являющиеся эффективным математическим аппаратом для решения задачами классификации, аппроксимации, прогнозирования, управления и идентификации технических систем [1].

Входными данными для нейронного анализатора являются напряжения и токи обмоток якоря (возбуждения), угловая скорость, момент сопротивления, оцененные параметры и ошибки предикторов:

$$\mathrm{X}=\left[U_я\ \ U_в\ \ I_я\ \ I_в\ \ R_я\ \ R_в\ \ \omega\ \ \Delta I_я\ \ \Delta I_в\ \ Mc\right]^T.$$

Выходные данные – определенный класс технического состояния ДПТ:

$$\mathrm{Y}=\left[Y_1\ \ Y_2\ \ Y_3\ \ Y_4\ \ Y_5\ \ Y_6\right]^T,$$

где $Y_1=\left[1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\right]^T$ - норма

$Y_2=\left[0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\right]^T$ - перегрузка,

$Y_3=\left[0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\right]^T$ - замыкание обмотки возбуждения,

$Y_4=\left[0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\right]^T$ - замыкание обмотки якоря,

$Y_5=\left[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\right]^T$ - обрыв обмотки возбуждения,

$Y_6=\left[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\right]^T$ - обрыв обмотки якоря.

Нейронная сеть хорошо аппроксимирует нелинейные зависимости и устойчива к шумам в обучающих данных. В качестве структуры ИНС была выбрана сеть на базе многослойного персептрона с одним скрытым слоем, которая хорошо подходит для решения задач классификации. Количество нейронов входного слоя определялось количеством диагностических признаков, выходного слоя – количеством диагностируемых технических состояний. Согласно общепринятому эвристическому правилу, начальное количество нейронов в скрытом слое равно полусумме числа входных и выходных нейронов сети.

Концепция обучения нейронной сети – обучение с учителем. На основе встроенных знаний учитель формирует и передает обучаемой нейронной сети желаемый отклик, соответствующий данному входному сигналу. Этот результат представляет собой оптимальные действия, которые должна выполнить нейронная сеть. После окончания обучения учителя отключают, и нейронная сеть работает самостоятельно. Алгоритм обучения – обратного распространения ошибки, он реализует вычислительно эффективный метод обучения многослойного персептрона, при этом синаптические веса настраиваются с целью максимального приближения выходного сигнала сети к желаемому. Активационная функция – экспоненциальная сигмоида, что отвечает требованию дифференцируемости функции. Также она обладает простой формой производной, что удобно при программировании алгоритма.

Для создания обучающей выборки использовались данные, полученные в лабораторных условиях для двигателя постоянного тока П-12. В электродвигателе, работающем в разных динамических режимах, искусственным образом создавались типичные неисправности, такие как различные обрывы, замыкания обмоток якоря и возбуждения, стопорения якоря и др. Была сформирована база измерений и соответствующие этим измерениям технические состояния ДПТ. В результате объем обучающей выборки составил 35 000 образцов, при числе эпох обучения 100 000, время обучения занимало около 5 часов. Для электроприводов технологических комплексов процедуру обучения нейронной сети необходимо проводить на специализированных стендах заводов-изготовителей или на промышленных предприятиях перед ихвключением в технологический процесс.

Важной особенностью системы диагностики на базе нейронной сети является возможность расширения диагностируемых классов аварийных режимов путем дополнительного обучения нейронной сети. В разработанной диагностической системе допускается расширение ее функциональных свойств путем дополнительного использования таких сигналов, как температура двигателя, уровень искрения щеток, уровень вибрации и др. Это позволяет создавать систему диагностики для конкретных технических нужд заказчика.

Для проверки работоспособности разработанной системы диагностики в лабораторных условиях был создан стенд, в состав которого входят система управления, силовой полупроводниковый преобразователь и двигатель П-12, который позволяет имитировать характерные аварийные режимы. В процессе испытаний создавались неисправности ДПТ и проверялась работоспособность диагностической системы, при этом анализировалась скорость и точность определения заданной неисправности.

Для визуализации работы нейронного анализатора технического состояния ДПТ каждый его

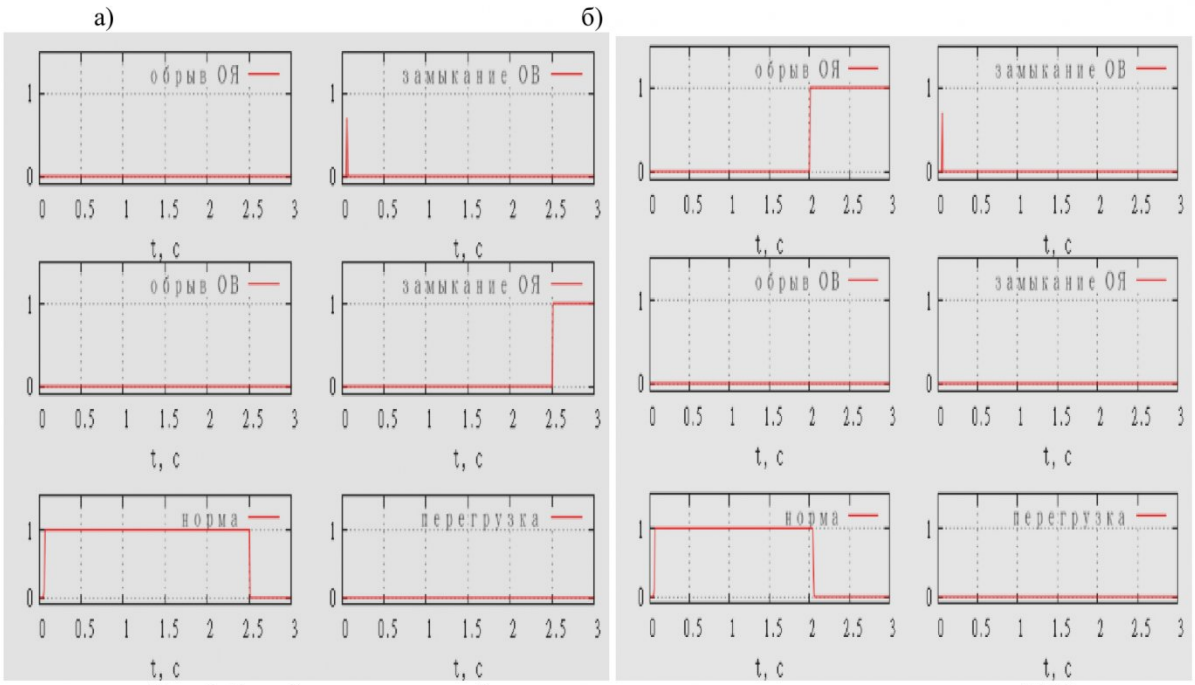

Рис. 3. Выходные сигналы нейронного анализатора техническогосостояния ДПТ при коротком замыкании обмотки якоря(а) и при обрыве обмотки якоря(б)

выходной сигнал, отвечающий за определенный режим работы, на рис. 3 представлен графически в функции времени. Значения выходных сигналов находятся в диапазоне от 0 до 1, при этом, наличие сигнала 1 свидетельствует о том, что нейронная сеть полностью «уверена» в данном режиме. При возникновении неисправности выходной сигнал анализатора, отвечающий за нормальный режим, из состояния 1 становится равным состоянию 0, а сигнал, отвечающий за данную неисправность, наоборот, из состояния 0 становится равным состоянию 1. Также возможны промежуточные значения сигналов, поэтому при определении класса неисправности ДПТ был установлен доверительный интервал – (0,95; 1). Класс неисправности считается достоверно установленным, если значение его выходного сигнала находится в доверительном интервале [2].

Проведенная серия опытов показала, что разработанная система диагностики с достаточными для практического применения скоростью и точностью определяет техническое состояние ДПТ. Время распознавания классов технического состояния не превышает 0.1 с. Проверка работоспособности диагностической системы осуществлялась на данных, которые не были задействованы при формировании обучающей выборки нейронной сети. Все программное обеспечение, используемое в диагностической системе, является оригинальным.

Используя алгоритмы динамической идентификации, разработанные на кафедре электропривода и автоматизации КузГТУ, возможно применение данной структуры системы диагностики и для асинхронных электроприводов, что делает разработанную систему универсальной.

Обнаружение дефектов в работающем электродвигателе на ранней стадии их развития позволит не только предупредить внезапную остановку производства в результате аварии, но и значительно снизить расходы на ремонт электродвигателя и увеличить срок его службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. 2-е издание [текст]. – М. Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.

2. В. *В. Скалозуб, О.М. Швец,* Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока // ІКСЗТ, 2009, №4 – с. 7-11.

Авторы статьи

Каширских
Вениамин Георгиевич,
доктор технических наук,
профессор каф.электропривода и автоматизацииКузГТУ..
E-mail: kvg@kuzstu.ru

Гаргаев
Андрей Николаевич,
кандидат технических наук,
ст. преподаватель каф. электропривода и автоматизацииКузГТУ.
E-mail: andrei345@yandex.ru