

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 622.313.33

В. Г. Каширских, А.Н. Гаргаев

### ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРЕДИКТОРА

Актуальная задача перехода технического обслуживания электротехнических объектов к обслуживанию по фактическому техническому состоянию требует для своего решения разработку новых интеллектуальных методов и средств диагностики.

Для контроля технического состояния двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ) в процессе его работы было проведено исследование возможности использования нейросетевого предиктора, который представляет собой математическую модель на базе искусственной нейронной сети (ИНС) [1,2]. Предиктор осуществляет предсказание выходного вектора состояния объекта по предыстории его входного и выходного сигналов на один шаг вперед.

Структура системы диагностики на основе использования нейросетевого предиктора приведена на рис.1. Здесь  $x$  – входной сигнал,  $y$  – выходной сигнал,  $n$  – глубина задержки входного сигнала,  $m$  – глубина задержки выходного сигнала,  $\hat{y}$  – предсказанный предиктором выходной сигнал,  $\Delta$  – ошибка предсказания.

Предиктор на основе ИНС более точен, чем предиктор на основе дифференциальных уравнений, описывающих динамику двигателя. Нейронная сеть аппроксимирует зависимости электромеханического преобразования более точно, чем предусмотрено дифференциальными уравнениями, за счет более полного учета особенностей конкретного типа электродвигателя.

Для использования нейронного предиктора его необходимо обучить на данных, полученных от исправного электрического двигателя при его работе в различных динамических режимах. В процессе обучения нейронная сеть аппроксимирует функциональную зависимость между входными и выходными сигналами. В качестве входных сигналов используются напряжения на обмотках, угловая скорость якоря, момент сопротивления, а также выходной сигнал, задержанный на некоторое время. Время задержки зависит от динамики объекта, и в нашем случае составляет 1мс. Выходным сигналом ИНС является предсказанный на один шаг вперед электрический ток в обмотке. Точность предсказания величины тока зависит от времени обучения, объема и качества обучающей выборки, а также от параметров самого нейросетевого предиктора.

Для формирования обучающей выборки, на

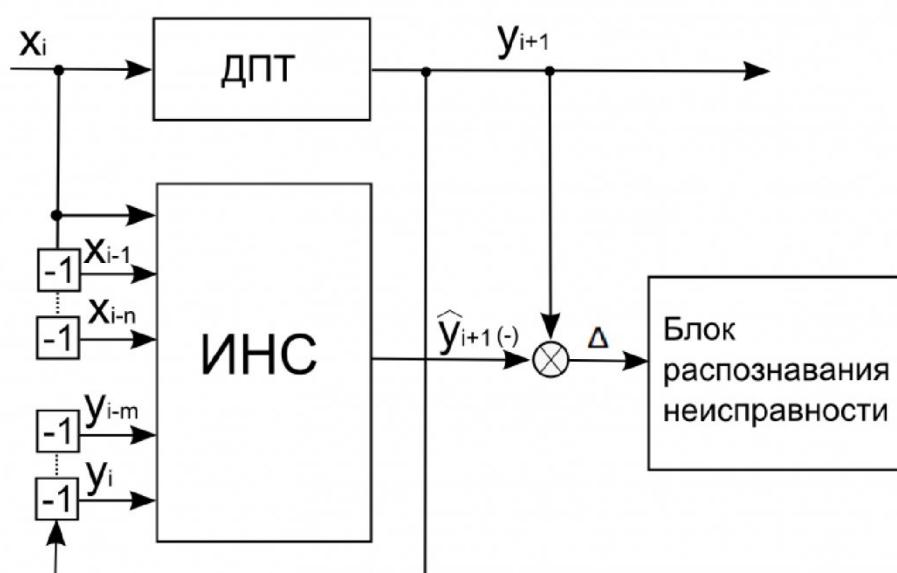


Рис. 1. Система диагностики на основе нейросетевого предиктора

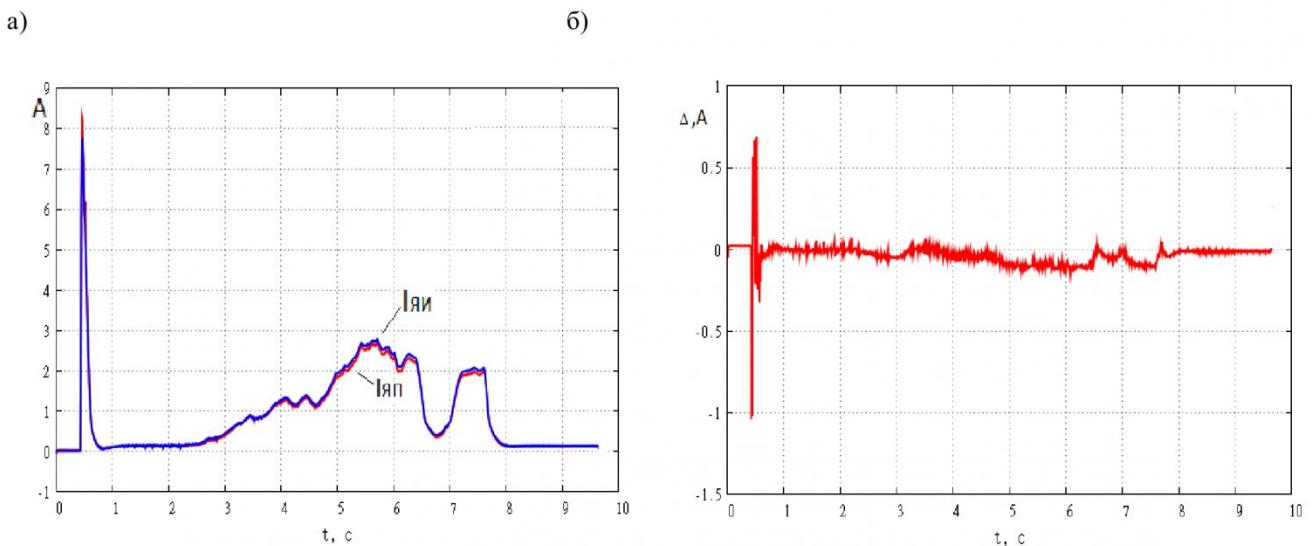


Рис. 2. Работа предиктора при исправном двигателе а)  $I_{яи}$  – измеренный ток якоря,  $I_{яп}$  – выходной сигнал предиктора; б)  $\Delta$  – рассогласование сигналов

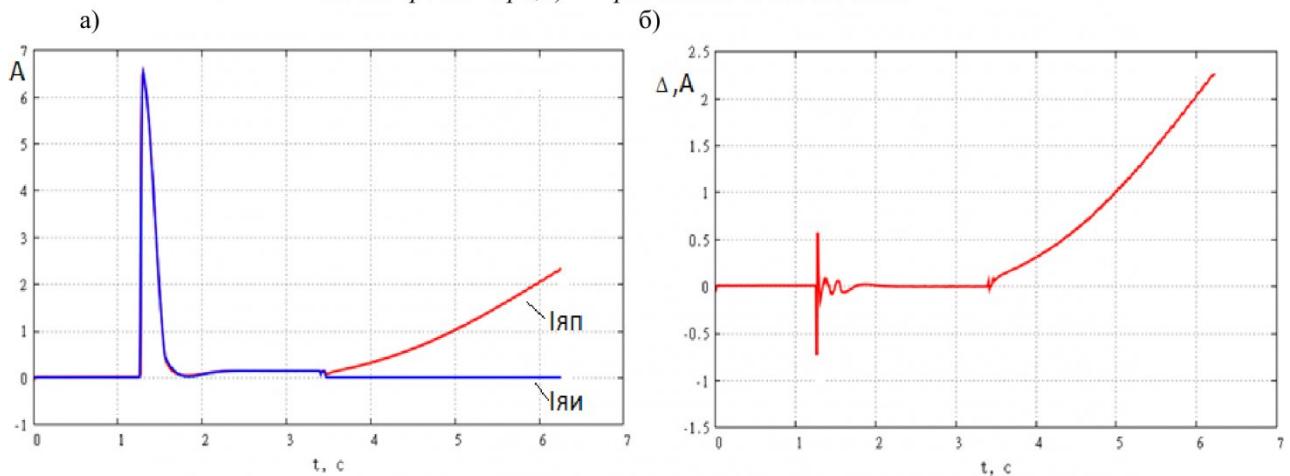


Рис. 3. Работа предиктора при обрыве обмотки возбуждения а)  $I_{яи}$  – измеренный ток якоря,  $I_{яп}$  – выходной сигнал предиктора; б)  $\Delta$  – рассогласование сигналов

специальном нагрузочном стенде были сняты данные с исправного электродвигателя П-12, работающего в различных динамических режимах. Объем обучающей выборки составил 30000 образцов. Число эпох обучения (полный проход по выборке) было взято равным 100000. Обучение ИНС производилось на компьютере, имеющем процессор Intel Pentium 4 с тактовой частотой 3 ГГц, при этом время обучения составляло 3-4 часа. Нейронная сеть имела один скрытый слой в 50 нейронов с активационной функцией в виде экспоненциальной сигмоиды. После обучения нейронный предиктор, представляющий теперь эталонную компьютерную модель исправного двигателя постоянного тока, подключается к диагностируемому двигателю постоянного тока.

При исправном двигателе выходной сигнал предиктора практически совпадает с реально измеренным током (рис. 2), а при возникновении и развитии неисправности появляется рассогласование сигналов. По величине и знаку рассогласова-

ния, а также по скорости изменения величины рассогласования производится диагностика технического состояния ДПТ в процессе его работы (рис. 3 – рис. 5). Появление импульсов с большой амплитудой в начале процесса определяется процессом пуска двигателя.

Серия проведенных опытов показала, что при обрывах в обмотках возникает положительное рассогласование между выходным сигналом предиктора и реально измеренным током электродвигателя, а при замыканиях – отрицательное рассогласование. При этом величина рассогласования зависит от степени развития неисправности, например, чем большее количество ламелей замкнуто, тем большее возникает рассогласование.

Анализ рассогласования, возникающего в случае неисправности, можно использовать в целях функциональной диагностики технического состояния ДПТ. Одной из возможных реализаций для этого является применение ИНС, способной, оценивая рассогласование сигналов, осуществлять

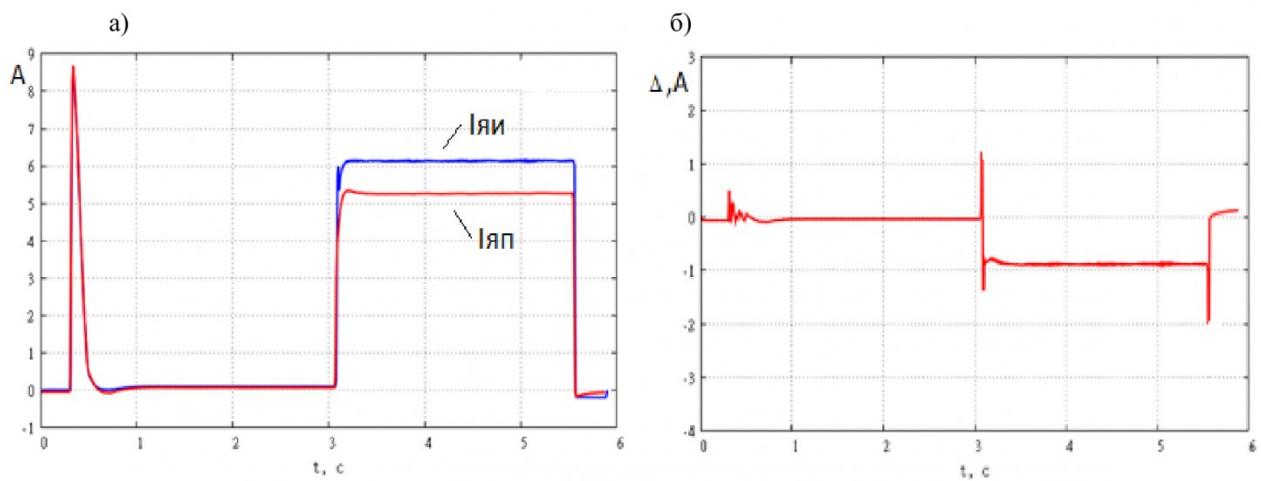


Рис. 4. Работа предиктора при замыкании обмотки якоря через резистор  
 а)  $I_{яи}$  – измеренный ток якоря,  $I_{яп}$  – выходной сигнал предиктора;  
 б)  $\Delta$  – рассогласование сигналов

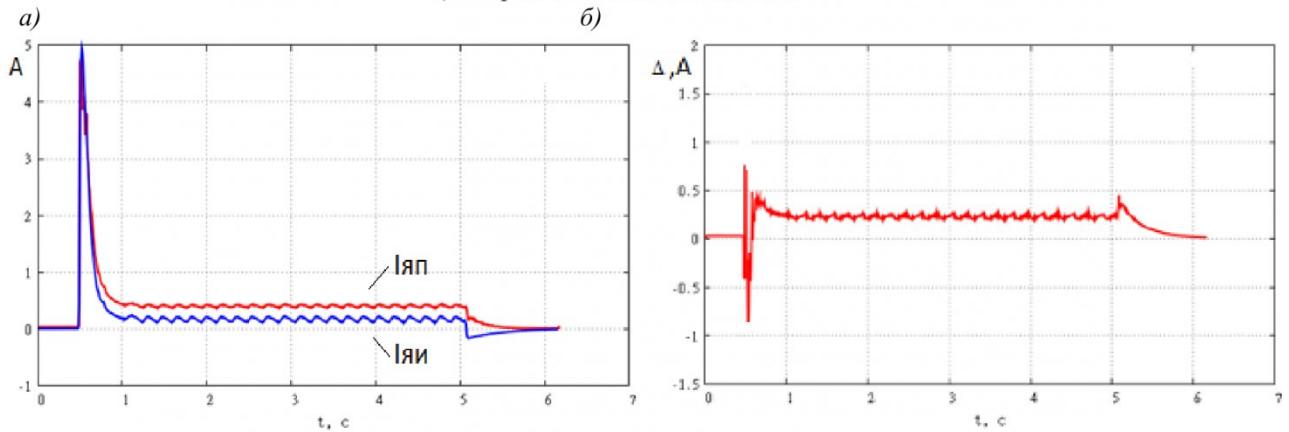


Рис. 5. Работа предиктора при открытии секции обмотки якоря;  
 а)  $I_{яи}$  – измеренный ток якоря при,  $I_{яп}$  – выходной сигнал предиктора;  
 б)  $\Delta$  – рассогласование сигналов

классификацию технических состояний ДПТ. При этом полезно проводить фильтрацию сигнала рассогласования от высокочастотной составляющей, для повышения точности распознавания и исключения ложных срабатываний системы диагностики.

Нейросетевой предиктор адекватно работает только с конкретным типом электродвигателя, данные которого использовались в процессе обу-

чения ИНС. Для диагностики других типов электродвигателей необходимо его отдельное обучение. Таким образом, анализ полученных результатов доказывает возможность использования нейросетевого предиктора для целей функциональной диагностики технического состояния двигателя постоянного тока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Махотило К.В. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления [текст]: Диссертация на соискание ученой степени к-та техн. наук. – Харьков, 1998. – 179 с.
2. Борисов В.В., Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика // М.: Горячая линия-Телеком. – 2002 – 382 с.

Авторы статьи

Каширских  
 Вениамин Георгиевич,  
 доктор технических наук,  
 профессор каф. электропривода и  
 автоматизации КузГТУ..  
 E-mail: [kvg@kuzstu.ru](mailto:kvg@kuzstu.ru)

Гаргаев  
 Андрей Николаевич,  
 кандидат технических наук,  
 ст. преподаватель каф. электропри-  
 вода и автоматизации КузГТУ.  
 E-mail: [andrei345@yandex.ru](mailto:andrei345@yandex.ru)