

В.Г. Каширских, профессор, д-р техн. наук  
А.Н. Гаргаев, ст. преподаватель, канд. техн. наук  
А.В. Нестеровский, доцент, канд. техн. наук  
Р.А. Кольцов, аспирант  
(КузГТУ, г. Кемерово)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ**

Создание интеллектуального электропривода с функциями текущего контроля состояния, эффективного управления, превентивной защиты, функциональной диагностики и прогнозирования возможно при широком использовании искусственных нейронных сетей (ИНС). Благодаря своим универсальным аппроксимирующим свойствам ИНС в настоящее время успешно применяются для идентификации различных нелинейных статических и динамических объектов.

Работа в этом направлении в течение ряда лет проводится на кафедре электропривода и автоматизации КузГТУ. Разработанные на основе ИНС дискретные идентификационные модели (предикторы) были успешно использованы, например, для определения величины активного сопротивления и индуктивности рассеяния ротора асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АД) в реальном времени (в пределах 20 мс) в процессе его работы.

Моделирование динамических процессов в АД на основе использования нейросетевых предикторов позволило также разработать метод контроля состояния обмотки статора с возможностью выявления витковых, межфазных и корпусных замыканий на ранних стадиях их возникновения. Применение данного метода позволит уменьшить затраты на ремонт АД. Для создания тепловой защиты АД на основе ИНС разработан метод контроля температуры ротора в реальном времени.

Нейросетевой предиктор был применен также для контроля технического состояния двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ) в процессе его работы. 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.

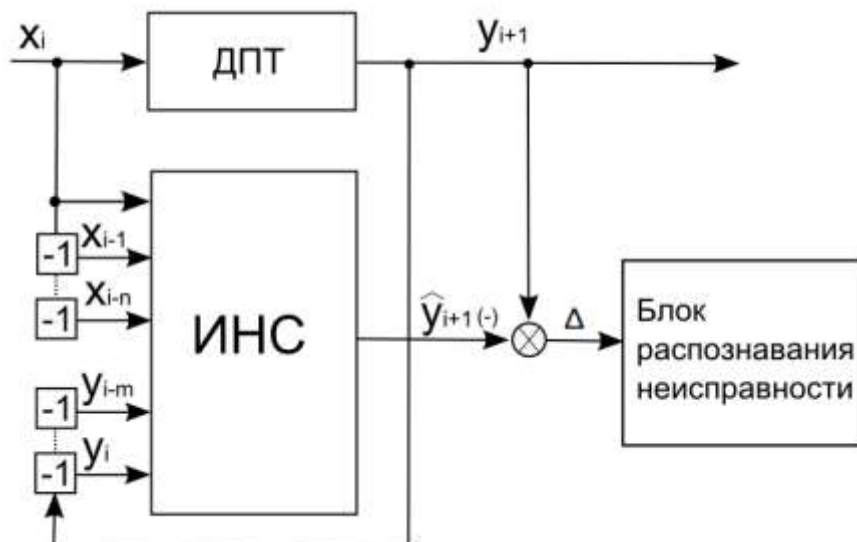


Рис. 1. Система диагностики на основе нейросетевого предиктора

Для формирования обучающей выборки, на 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 ДПТ.

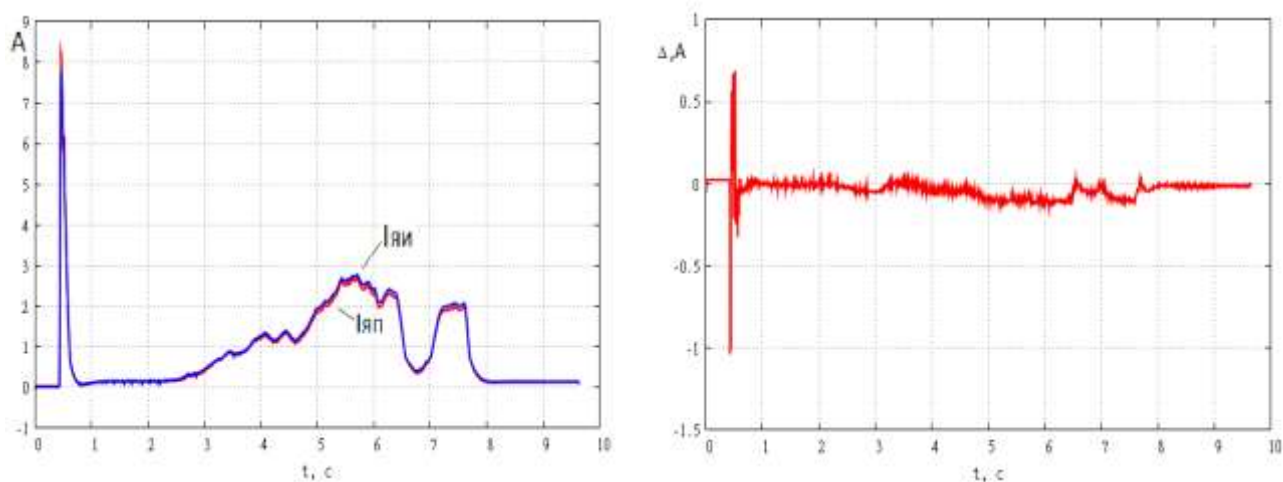


Рис. 2. Работа предиктора при исправном двигателе:  
 $I_{яи}$  – измеренный ток якоря;  $I_{яп}$  – выходной сигнал предиктора;  
 $\Delta$  – рассогласование сигналов

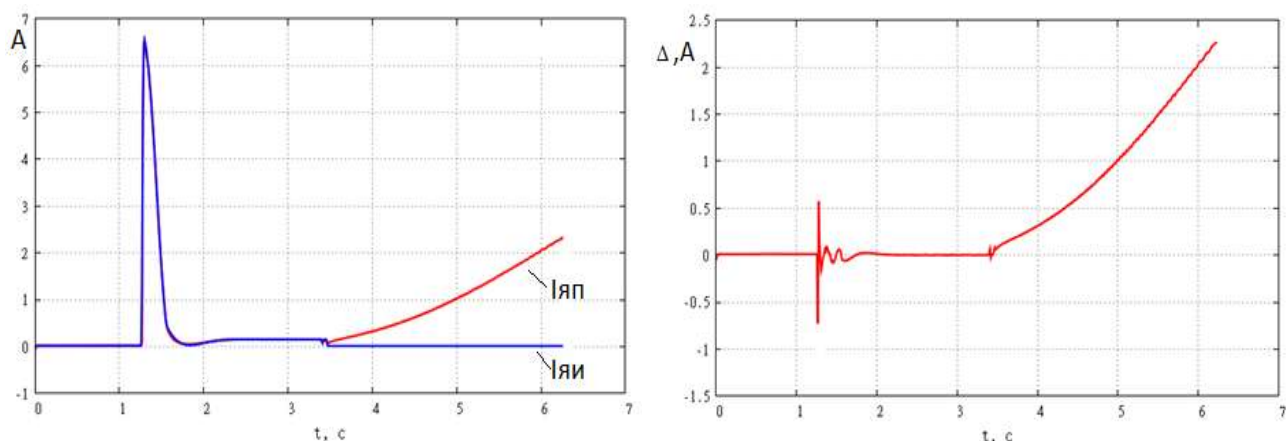


Рис. 3. Работа предиктора при обрыве обмотки возбуждения:  
 $I_{яи}$  – измеренный ток якоря,  $I_{яп}$  – выходной сигнал предиктора;  
 $\Delta$  – рассогласование сигналов

Исследования показали, что при исправном двигателе выходной сигнал предиктора практически совпадает с реально измеренным током (рис. 2), а при возникновении и развитии неисправности появляется рассогласование сигналов (рис. 3). По величине и знаку рассогласования, а также по скорости изменения величины рассогласования производится диагностика технического состояния ДПТ в процессе его работы.

Анализ вида 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 классификацию технических состояний ДПТ.

Таким образом, проведенные нами научные исследования показывают, что применение ИНС при создании и совершенствовании электроприводов позволит повысить их энергетическую эффективность и функциональную надежность.