ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

В. А. Сацура

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. Н. Погуляев

Рассмотрены интеллектуальные методы оптимизации управления электроприводами, включая нейронные сети и нечеткую логику. Основное внимание уделено алгоритмическим особенностям, структурам регуляторов и способам настройки параметров. Приведены математические модели и методы их реализации в системах управления электродвигателями. Показано, что применение интеллектуальных методов позволяет существенно повысить качество управления в условиях нелинейности и неопределенности параметров.

Ключевые слова: электропривод, оптимизация, нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы, адаптивное управление.

Рассмотрим электропривод как объект управления, описываемый системой дифференциальных уравнений:

$$J\frac{d\omega}{dt} = M - M_{\text{н}}, \quad L\frac{di}{dt} = U - R_i - K_e\omega, \tag{1}$$

где ω – угловая скорость; M – электромагнитный момент; $M_{\text{н}}$ – нагрузочный момент.

Классические ПИД-регуляторы используют фиксированные коэффициенты K_p, K_i, K_d, что ограничивает их эффективность при изменении параметров системы. Интеллектуальные методы направлены на адаптивную или оптимальную настройку этих параметров.

Нейросетевые методы управления. Нейронная сеть используется для аппроксимации функции управления:

$$u = f(x, w), \tag{2}$$

где x – вектор состояния; w – веса сети.

На практике применяются многослойные перцептроны с обучением по алгоритму обратного распространения ошибки. Функция ошибки имеет вид:

$$E = \frac{1}{2}\sum (y_{ref} - y)^2. \tag{3}$$

Градиентное обновление весов:

$$w_{ij}^{(k+1)} = w_{ij}^{(k)} - \eta\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}. \tag{4}$$

В электроприводах нейросети применяются для следующего:

– идентификации нелинейной модели двигателя;

– адаптивной настройки ПИД-регуляторов;

– прямого синтеза управляющего сигнала (нейроконтроллер).

Особый интерес представляет метод обратного управления (inverse control), где сеть обучается аппроксимировать обратную динамику привода.

Нечеткие регуляторы. Нечеткое управление основано на правилах:

$$\text{если } e \text{ есть } A_i \text{ и } \dot{e} \text{ есть } B_j, \text{ то } u = C_{ij}, \tag{5}$$

где e – ошибка, $\dot{e}$ – производная ошибки.

Функции принадлежности обычно задаются треугольными или гауссовыми функциями:

$$\mu(x) = \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right). \tag{6}$$

Алгоритм работы нечеткого регулятора:

1. Фаззификация входных переменных.
2. Применение базы правил.
3. Агрегация результатов.
4. Дефаззификация (например, методом центра тяжести):

$$\mu = \frac{\int \mu(u) u \, du}{\int \mu(u) \, du}. \tag{7}$$

Нечеткие регуляторы эффективно заменяют ПИД в условиях:

– нелинейности;

– отсутствия точной модели;

– изменяемой нагрузки.

Нейронечеткие системы. Комбинированная модель ANFIS описывается как:

$$y = \sum_i w_i(x) f_i(x), \tag{8}$$

где веса w_i определяются нечеткими правилами, а параметры обучаются нейросетью.

Такие системы позволяют:

– автоматически настраивать функции принадлежности;

– адаптировать правила управления;

– повышать точность при сохранении интерпретируемости.

Методы оптимального и адаптивного управления. Используется критерий оптимальности:

$$J = \int_0^\infty \left(x^t Q x + u^T R u\right) dt. \tag{9}$$

Решение приводит к линейно-квадратичному регулятору:

$$u = -K_x, \tag{10}$$

где матрица K определяется через решение уравнения Риккати.

Интеллектуальные методы применяются для следующего:

– онлайн-оценки матриц Q, R;

– адаптации коэффициентов в реальном времени.

Таким образом, интеллектуальные методы оптимизации управления электроприводами реализуются через конкретные алгоритмы обучения, оптимизации и ло-

гического вывода. Их применение позволяет существенно повысить качество регулирования за счет адаптации к нелинейностям, неопределенностям и изменяющимся условиям работы.

Литература

1. Ким, Д. П. Теория автоматического управления / Д. П Ким. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – Т. 1. Линейные системы. – 288 с.
2. Хайкии, С. Нейронные сети: полный курс : пер. с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2016. – 1104 с. : ил.

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Чжан Чжунбинь

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь, Шаньдунский технологический институт Хуаюй, г. Дэчжоу, Китайская Народная Республика

Научный руководитель В. А. Савельев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь,

Проведен сравнительный анализ алгоритмов управления матричными преобразователями частоты, направленный на максимизацию энергоэффективности современных систем электропривода. Основное внимание уделено интеграции методов искусственного интеллекта и машинного обучения, включая искусственные нейронные сети и глубокое обучение с подкреплением, для решения проблемы вычислительной сложности классических методов. Приведены численные показатели эффективности (КПД, коэффициент гармоник, время выполнения), подтверждающие перспективность интеллектуальных систем управления.

Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, энергоэффективность, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, обучение с подкреплением, электропривод.

В условиях глобального перехода к энергосберегающим технологиям и цифровизации промышленности оптимизация работы электропривода, потребляющего до 60 % всей вырабатываемой электроэнергии, становится первоочередной задачей. Традиционные двухзвенные преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока имеют ряд недостатков: наличие громоздких электролитических конденсаторов, ограниченный срок службы и потери при двукратном преобразовании энергии.

Матричный преобразователь частоты (МПЧ) представляет собой одну из наиболее перспективных топологий в силовой электронике, обеспечивающую прямое преобразование переменного тока в переменный (*AC*/*AC*) без использования промежуточного звена постоянного тока. В отличие от традиционных двухзвенных преобразователей МПЧ реализует концепцию «полностью кремниевого преобразователя», что существенно повышает его удельную мощность и надежность. МПЧ позволяет достичь более высокой удельной мощности, надежности и КПД до 98 %. Однако сложность топологии требует разработки высокопроизводительных алгоритмов управления, способных работать в реальном времени при высоких частотах дискретизации. Использование искусст-