

2. **Апорович, А. Ф.** Статистическая теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / А. Ф. Апорович. – Минск: Наука и техника, 1984. – 215 с.

3. **Мордачев, В. И.** Статистические характеристики электромагнитной обстановки в рассредоточенных группировках РЭС: науч.-техн. отчет инв. № 02880034534. – Минск: МРТИ, 1987.

4. **Мордачев, В. И.** Типовые модели электромагнитной обстановки при рассредоточенном пространственном размещении источников / В. И. Мордачев // Тр. X Междунар. Вроцлавского симпозиума по электромагнитной совместимости. Июнь 1990 г. – С. 409–414.

5. **Мордачев, В. И.** Статистические характеристики динамического диапазона непреднамеренных помех при рассредоточенном пространственном группировании их источников / В. И. Мордачев // Тр. IX Междунар. Вроц-

лавского симпозиума по электромагнитной совместимости. Июнь 1988 г. – С. 571–576.

6. **Mordachev, V.** Radiosignals Dynamic Range in Space-Scattered Mobile Radiocommunication Networks / V. Mordachev // 15th Intern. Wroclaw Symp. on EMC, Poland, Wroclaw, June 27–30, 2000. – P. 331–335.

7. **Mordachev, V.** Mathematical Models for Radiosignals Dynamic Range Prediction in Space-Scattered Mobile Radiocommunication Networks / V. Mordachev // The IEEE Semi Annual VTC Fall 2000, Boston, Sept. 24–28. – 2000. – 8 p.

8. **Rappaport, T. S.** Wireless Communications: Principles and Practice / T. S. Rappaport. – Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002.

Поступила 21.11.2008

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОУПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Авт. НЕДВЕЦКИЙ Н. С.

Белорусский национальный технический университет

Большое разнообразие технологических процессов, используемых в промышленности, требует соответствующего разнообразия методов управления ими. На практике среди традиционных схем управления выделяются пропорциональное (П), пропорционально-интегральное (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) управление [1], управление с самонастройкой, ПИД-управление с самонастройкой, обобщенное прогнозирующее (ОП) управление и управление на базе нечеткой логики (НЛ). Наибольшее распространение в промышленности получили ПИД-контроллеры, имеющие простую структуру и высокую надежность. Применение ПИД-регулирования не требует знания точной модели процесса. Однако такие контроллеры обладают и существенными недостатками:

- ПИД-контроллер не обеспечивает оптимальную характеристику для процессов с переменными параметрами и существенными нелинейностями;
- настройка параметров производится вручную для каждой рабочей точки технологического процесса;

• имеется существенная чувствительность к возмущениям входного сигнала.

Для многих динамических процессов, характеризующихся многомерностью и нелинейностью параметров, классические методы не обеспечивают требуемой точности управления. Поэтому для управления ими используют контроллеры с регулированием на основе НЛ. Однако для систем с одновременным сочетанием нечеткости и неопределенности параметров и такие регуляторы оказываются малоэффективными.

Многие реальные системы включают в себя нелинейные характеристики процессов, сложные для моделирования динамические элементы, неконтролируемые шумы и помехи и другие факторы, затрудняющие реализацию управления. Современная теория управления базируется на принципах линеаризации системы, что на практике приводит к необходимости предварительной разработки математических моделей. К сожалению, моделирование линеаризованной системы не всегда адекватно отражает физические свойства реальной системы или отражает их с недостаточной точностью. Это приводит к тому, что на практике

можно применять только модели с низкой чувствительностью по параметрам, что для нелинейных систем осуществить достаточно сложно.

Альтернативой существующим методам являются нейроуправление с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей (НС). Из [1], [2] можно выделить основные преимущества перед традиционными системами управления:

1. НС могут аппроксимировать любые гладкие функции, важны только объем предоставленных данных и выбор правильной нейронной модели. Таким образом НС позволяют избежать использования сложного математического аппарата.

2. Использование нелинейных функций активации в многослойной нейронной сети позволяет обеспечить эффективную реализацию достаточно гибких нелинейных преобразований. Это важно для решения задач с существенными нелинейностями, решение которых с помощью традиционных подходов пока не дают приемлемых результатов.

3. НС являются обучаемыми или самообучаемыми системами, и для их функционирования не требуется значительный объем априорной информации об объекте управления в отличие от классических методов оптимального адаптивного управления. Это свойство НС-регуляторов дает возможность осуществлять управление в условиях существенных нелинейностей.

4. Высокая степень параллельности НС обеспечивает высокую производительность вычислений при использовании соответствующих аппаратных средств (например, ПЛИС).

5. Архитектура параллельной обработки позволяет НС функционировать даже при повреждении отдельных элементов сети за счет монотонного, а не катастрофического уменьшения качества работы при увеличении количества вышедших из строя элементов.

Сравнительные испытания различных схем управления: НС-регулятор, ПИД-регулятор, НЛ-регулятор и ОП-регулятор – на примере системы регулирования температурой водяной ванны, приводящиеся в [1], позволяют сделать следующий вывод. НС-регулятор наиболее пригоден при работе с нелинейным объектом, так как его характеристики слежения, реакции на возмущения, сглаживание управляющего сигнала и реакции на изменения параметров являются самыми высокими.

К относительным недостаткам НС-регуляторов можно отнести потребность в высоких вычислительных мощностях, необходимость предварительного обучения и достаточно сложный выбор структуры модели НС и параметров обучения. Первая проблема решается применением специализированных вычислителей – нейрочипов или ПЛИС. Обучение же системы требуется на этапе ее настройки, после завершения которой НС-регулятор становится самонастраиваемым и не требует дальнейших поднастроек.

В [3] рассматриваются основные способы включения нейроконтроллеров в контур управления динамическими системами:

- нейроуправление на основе инверсно-прямой модели;
- нейроуправление на основе инверсно-непрямой модели;
- нейроуправление с эмулятором и контроллером;
- общая схема нейроуправления;
- последовательная схема нейроуправления;
- параллельная схема нейроуправления;
- нейроуправление с самонастройкой.

Отдельно можно выделить многомерную систему нейроуправления, использующую LON-технологии для соединения отдельных частей распределенного алгоритма управления [4]. Суть данной технологии заключается в распределении функций управления между аппаратными компонентами (узлами) и создания робастной среды, активно противодействующей деградации управления при отказе отдельных узлов.

Сравнение П-регулирования и НС-регулирования на примере автоматического регулятора сварочной дуги. Классические электродуговые автоматы построены по принципу пропорционального регулирования напряжением сварочной дуги. В современных автоматах с постоянной подачей проволоки используется принцип саморегулирования дуги за счет внешней падающей характеристики питающего источника тока. В таких системах длина дуги поддерживается приблизительно постоянной [5].

Применение НС-регулятора позволяет повысить точность поддержания длины дуги, что повышает однородность сварного шва, а также понижает расход электроэнергии и сварочной проволоки.

Структурная схема П-регулятора и НС-регулятора электродуговой сварки приведена на рис. 1, 2 соответственно.

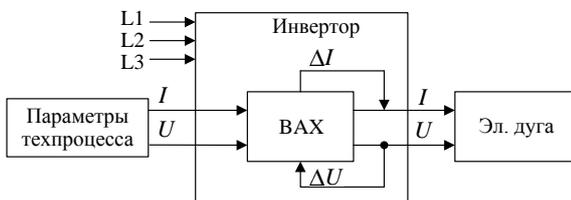


Рис. 1. Структурная схема П-регулятора электродуговой сварки

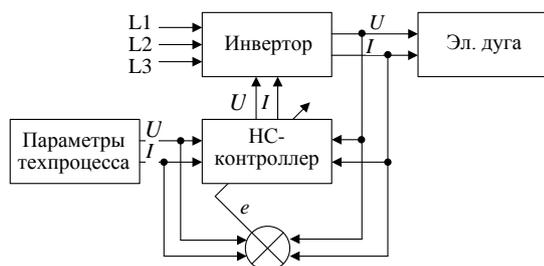


Рис. 2. Структурная схема НС-регулятора электродуговой сварки

На рис. 1 поддержание горения дуги осуществляется за счет автоматического саморегулирования дуги. Такое регулирование осуществляется за счет внешней падающей вольт-амперной характеристики (ВАХ) питающего источника тока. С увеличением длины и напряжения дуги уменьшается ток в дуге. И наоборот, чем более пологим является рабочий участок ВАХ, тем сильнее меняется ток с изменением напряжения и тем интенсивнее идет процесс регулирования.

На рис. 2 приведена схема регулирования электродугой при помощи НС-контроллера. Изменение значения тока и напряжения служит для генерации сигнала перерегулирования в режиме обучения (сигнал «e»). В режиме регулирования поддержка требуемых значений технологических параметров осуществляется НС-регулятором, а сигнал перерегулирования служит для подстройки весовых коэффициентов НС налету (свойство самообучения НС).

Из рис. 3 видно, что НС-регулятор лучше осуществляет регулирование при скачкообразных изменениях задаваемого параметра.

Необходимо подчеркнуть высокую отказоустойчивость НС-контроллеров к частичным отказам его структурных элементов (ячейки памяти, макроячейки – для ПЛИС) за счет архитектуры параллельной обработки информа-

ции, что достаточно актуально при использовании НС-контроллера в системах с повышенными требованиями к надежности, так как такой подход позволяет исключить дублирование вычислительных устройств как метода повышения надежности.

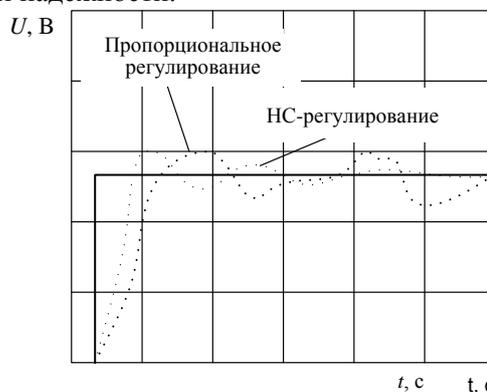


Рис. 3. Переходные процессы для П- и НС-регуляторов

ВЫВОД

Нейроуправление в значительной степени охватывает все традиционные методы регулирования. НС-методы не уступают классическим методам управления, а по ряду факторов значительно превосходят их (решения задач с существенными нелинейностями, высокая производительность вычислений и надежность, возможность самонастройки). Несмотря на существующие недостатки (реализация НС-методов требует высоких вычислительных мощностей, предварительного обучения и достаточно сложного выбора структуры модели и параметров обучения), НС-методы регулирования могут быть эффективно использованы для управления сложными нелинейными объектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нейроуправление** и его приложения / С. Омату [и др.]. – М.: ИПРЖР, 2000. Серия «Нейрокомпьютеры и их применение». – Кн. 2.
2. **Терехов, В. А.** Нейросетевые системы управления / В. А. Терехов, Д. В. Ефимов, И. Ю. Тюкин. – М.: ИПРЖ, 2002. Серия «Нейрокомпьютеры и их применение». – Кн. 7.
3. **Галушкин, А. И.** Нейроуправление. Базовое направление развития теории и практики управления сложными динамическими системами / А. И. Галушкин, С. В. Пан-телеев // Параллельные вычисления и задачи управления: тр. II Междунар. конф. РАСО 04, 4–6 окт. 2001 г.
4. **Чимишняк, С.** Распределенные алгоритмы управления / С. Чимишняк // Мир компьютерной автоматизации. – 2000. – № 1.
5. **Хренов, К. К.** Сварка, резка и пайка металлов / К. К. Хренов. – М.: Машгиз, 1952.

Поступила 21.11.2008