

УДК 621.365.9:681.5.015:681.518.3

ЭТАПЫ АЛГОРИТМА КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
В СИСТЕМЕ С ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

В.П.Войтенко,

Черниговский государственный технологический университет,
ул. Шевченко, 95, Чернигов, 14027, Украина.

Сформулирована проблема создания квазиоптимальной системы реального времени на базе встраиваемых микроконтроллеров, в основе работы которой лежит идентификация с помощью искусственной нейронной сети подсистемы «импульсный преобразователь – неизвестная нагрузка», работающей в условиях изменяющихся ограничений на уровни воздействия и при наличии возмущений. Предложен модифицированный алгоритм оптимального регулирования, который без численного решения трансцендентного уравнения позволяет поставить время регулирования в зависимость от величины начального рассогласования и, тем самым, повысить быстродействие системы при отработке малых заданий (например, при слежении за параметром). Библ. 7.

Ключевые слова: квазиоптимальное регулирование, импульсный преобразователь, идентификация, искусственные нейронные сети.

При проектировании реальных промышленных регуляторов, как правило, точная математическая модель управляемого процесса изначально неизвестна, условия функционирования могут изменяться, в каналах измерения фазовых координат действуют помехи, стохастическая природа которых не определена [1]. Кроме того, существует ряд ограничений на переменные состояния процесса, которые сами могут изменяться, например, зависеть от начальных условий. Звеном связи между регулятором («интеллектуальной» частью системы) и процессом («энергопотребителем») является электрический преобразователь импульсного типа. Такие его особенности как нелинейности характеристик и собственные динамические свойства существенно сказываются на времени установления, ошибке в установившемся режиме и других характеристиках системы.

Теория построения оптимальных цифровых регуляторов опирается на представление реальных объектов управления линейными математическими моделями со сходной динамикой. Искомые параметры модели объекта традиционно получают на основании данных теоретических исследований, а также экспериментов в лабораторных условиях. Этот подход допустим только в случае, когда разрабатывается система управления для наперед заданного объекта. Условия серийного производства промышленных регуляторов для широкого применения диктуют необходимость разработки алгоритмов оценивания типа модели объекта управления, а также ее параметров (т.е. идентификации процесса) в системе, которая уже полностью смонтирована.

В итоге построения оптимальных систем управления промышленными процессами в реальном времени, когда дополнительные ограничения накладывают вычислительные ресурсы существующей элементной базы – встраиваемые микроконтроллеры – оказывается невозможным. Изначально нужно говорить о разработке квазиоптимальных систем, т.е. близких к оптимальным, таких, которые могут использоваться в качестве оптимальных в практических целях [4]. В нашем случае под квазиоптимальной будем понимать систему, характер переходного процесса и динамическая ошибка которой по отношению к идеализированной оптимальной системе не превышает заданной величины в условиях изменяющихся по неизвестному на стадии проектирования закону ограничений на управление. В известных исследованиях, посвященных решению проблем эффективного управления импульсным преобразователем в составе промышленной системы, в комплексе не решен вопрос получения оптимального по быстродействию и без перерегулирования переходного процесса при работе на нагрузку с неизвестными на стадии проектирования параметрами, а также инвариантность системы одновременно и к заданию, и к возмущению по выходному параметру [2].

Решение актуальной задачи построения универсальных с точки зрения применения самонастраивающихся регуляторов может быть получено с помощью структур и алгоритмов адаптивного квазиоптимального регулирования, в которых импульсный преобразователь в связке с объектом управления является предметом идентификации, а полученная опорная модель реализуется программно-аппаратными средствами встраиваемого микроконтроллера и используется в контуре промышленной системы автоматического управления. Процедура идентификации может быть выполнена с использованием аппарата искусственных нейронных сетей [3].

Шаги реализации квазиоптимального регулирования.

1. **Формирование обучающей выборки.** В процессе on-line взаимодействия с реальным объектом собирается априорная информация о процессе, выявляются предельные воздействия по амплитуде и длительности, проводится полуфизическое моделирование [7]. Для нагревательного элемента, например, измеряется температура окружающей среды, которая добавляется к выходу процесса, что уменьшает количество входов модели. Результатом этапа являются экспериментальные данные о процессе.

2. **Идентификация процесса.** Off-line тренировка искусственной нейронной сети-аппроксиматора процесса, а по ней – нейроконтроллера. Результат: структуры сетей и их параметры.

3. **Параметрическая идентификация.** Off-line подбор базовой линейной модели процесса и ее параметров. Реализуется путем анализа рассогласования отклика на тестовое воздействие нейро-модели процесса и искомой модели. Результат: структура модели из базового набора, алгоритм оптимального регулятора и его параметры.

4. **Корректировка.** On-line тестирование замкнутой системы и уточнение параметров регулятора. Реализуется путем анализа отклика системы на тестовое задание. Результат: работоспособная система.

5. **Експлуатація.** On-line робота с адаптацією к возмущениям.

Проанализировано использование нейронных сетей в управлении [5, 6]. Отражены основные их особенности. Показана предпочтительность применения нелинейных авторегрессионных сетей с экзогенными входами. Предложен алгоритм формирования обучающего сигнала, позволяющий обеспечить удовлетворительное качество аппроксимации и снизить требуемый объем памяти. Построены переходные процессы, позволяющие судить об уровне обобщения, достаточном для использования полученных моделей на последующих шагах реализации квазиоптимального регулирования.

Предложен модифицированный алгоритм оптимального регулирования, который, в отличие от известного, без численного решения трансцендентного уравнения позволяет поставить время регулирования в зависимость от величины начального рассогласования и, тем самым, повысить быстродействие системы при отработке малых заданий (например, при слежении за параметром).

1. *Войтенко В.П.* Квазиоптимальное регулирование в промышленной системе с импульсным ключом // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Силовая електроніка та енергоефективність". – 2011. – Ч. 2. – С. 171–175.

2. *Войтенко В.П.* Квазиоптимальные промышленные регуляторы с автоматической параметрической идентификацией // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Силовая електроніка та енергоефективність". – 2004. – Ч. 3. – С. 85–90.

3. *Войтенко В.П., Хоменко М.А., Рудіч П.В.* Застосування штучних нейронних мереж для ідентифікації промислових об'єктів керування // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 1 (47). – С. 196–201.

4. *Леонов А.П.* К проблеме синтеза квазиоптимального по быстродействию цифрового управления позиционированием объекта / Препринт ИФВЭ 99 – 1. Протвино, 1999. – 11 с.

5. *Hagan M.T., De Jesus O., Schultz R.* Training recurrent networks for filtering and control // in: *Recurrent Neural Networks: Design and Applications*, L. Medsker and L.C. Jain. – Eds., CRC Press. – Pp. 311–340.

6. *Hagan M.T., Demuth H.B.* Neural networks for control // Proc. American Control Conference, San Diego, CA, 1999. – Pp. 1642–1656.

7. *Ljung L.* Some aspects on nonlinear system identification // 14th IFAC Symposium on System Identification, 2006. – Vol. 14, part 1.

УДК 621.365.9:681.5.015:681.518.3

ЕТАПИ АЛГОРИТМА КВАЗІОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ З ІМПУЛЬСНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

В.П.Войтенко,

Чернігівський державний технологічний університет,

вул. Шевченко, 95, Чернігів, 14027, Україна.

Сформульовано проблему створення квазиоптимальної системи реального часу на базі вбудованих мікроконтролерів, робота якої базується на ідентифікації за допомогою штучної нейронної мережі підсистеми "імпульсний перетворювач – невідоме навантаження", що працює в умовах обмежень, які змінюються, на рівні впливу та за наявності збурень. Запропоновано модифікований алгоритм оптимального регулювання, який без чисельного рішення трансцендентного рівняння дозволяє поставити час регулювання в залежність від величини початкового розузгодження і, тим самим, підвищити швидкість системи під час відпрацювання малих завдань. Бібл. 7.

Ключевые слова: квазиоптимальне регулювання, імпульсний перетворювач, ідентифікація, штучні нейронні мережі.

ALGORITHM STAGES OF QUASI-OPTIMAL REGULATION IN SYSTEM WITH A PULSE CONVERTER

V.P.Voitenko,

Chernihiv State Technological University, Shevchenka, 95, Chernihiv, 14027, Ukraine.

Research problem to create a real time quasi-optimal system on the basis of built in microcontrollers is formulated. In the heart of such system lies the identification of a subsystem called 'the pulse converter – the unknown (including – nonlinear) load' by the means of an artificial neural network. This subsystem functions under conditions of changing limitations on the impact levels and in the presence of disturbances. The modified algorithm of optimal regulation is suggested. It allows putting the regulation time in its dependence on the size of the initial mismatch without any numerical solving of the transcendental equation and therefore increasing the speed of the system while fulfilling smaller tasks (for example, a task of parameter tracking). References 7.

Key words: quasi-optimal regulation, pulse converter, identification, artificial neural networks.

1. *Voitenko V.P.* Quasi-optimal regulation in the industrial system with the pulse key // *Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist"*. – 2011. – Vol. 2. – Pp. 171–175. (Rus)

2. *Voitenko V.P.* Quasi-optimal industrial regulators with automatic parametric identification // *Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist"*. – 2004. – Vol. 3. – Pp. 85 – 90. (Rus)

3. *Voitenko V.P., Khomenko M.A., Rudich P.V.* Application of artificial neural networks for the identification of industrial control objects // *Visnyk ChDTU*. – 2011. – № 1 (47). – Pp. 196 – 201 (Ukr)

4. *Leonov A.P.* To a problem of synthesis of the quasi-optimal on speed digital control for the object positioning // the Preprint IPHE 99–1. Protvino, 1999. – 11 p. (Rus)

5. *Hagan M.T., De Jesus O., Schultz R.* Training recurrent networks for filtering and control // in: *Recurrent Neural Networks: Design and Applications*, L. Medsker and L.C. Jain. – Eds., CRC Press, Pp. 311–340.

6. *Hagan M.T., Demuth H.B.* Neural networks for control // Proc. American Control Conference, San Diego, CA. – 1999. – Pp. 1642–1656.

7. *Ljung L.* Some aspects on nonlinear system identification // 14th IFAC Symposium on System Identification, 2006. – Vol. 14, Part 1.

Надійшла 20.01.2012

Received 20.01.2012