УДК 62-83: 621.313.2

Г.А. Сорокин, А.В. Кожевников

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

В статье отражены проблемы настройки, регулирования и эксплуатации автоматизированных электрических приводов в отечественной и зарубежной металлургической промышленности. Предложен новый способ и разработана лабораторная установка, позволяющая исследовать эффективность как существующих, так и новых технических решений в области управления и регулирования электропривода.

Автоматизированный электрический привод, ПИД-регулятор, импульсное управление, исследовательский стенд, экономия электроэнергии.

The article describes configuration issues, management and operation of the automated electric drives in Russian and foreign iron and steel industry. The authors suggested a new method and developed the laboratory facility, which allows to investigate the efficiency of both existing and new technical solutions for the management and control of the drive.

Automated electric drive, PID-control, impulse control, research stand, saving electricity.

Проблемам оптимального управления посвящено много работ [1]–[3], однако выбор оптимальной модели обычно основан на компромиссе между качеством регулирования и сложностью модели. Для нелинейных процессов и при повышенных требованиях к качеству регулирования разрабатывают модели с индивидуальной структурой, основываясь на физике процессов, протекающих в объекте управления.

Известен способ пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования с обратной связью [1], который доминирует в металлургической отрасли в сфере управления двигателями главных приводов прокатных станов и описывается выражением:

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)dt + T_d\frac{de(t)}{dt},$$

где t – время; K, T_i, T_d – пропорциональные безразмерные коэффициенты, y – регулируемая, u – выходная величина регулятора. В частном случае пропорциональная, интегральная или дифференциальная компоненты могут отсутствовать и такие упрощенные регуляторы называют П-, И- или ПИ-регуляторами. Входом объекта управления является выход регулятора, т.е. величина u, которая имеет ту же размерность, что и рассогласование e, выходная величина y и управляющее воздействие r. То есть, если объект управляется током или частотой вращения вала, во всех этих случаях управляющей величиной является u, а в модель объекта управления следует ввести преобразователь величины u в ток или в частоту вращения вала соответственно. Таким воздействием во всех случаях должна быть величина u (выходная величина регулятора).

ПИД-регулятор, воплощенный в виде технического устройства, называют ПИД-контроллером. ПИД-контроллер обычно имеет дополнительные сервисные свойства автоматической настройки, сигнализации, самодиагностики, программирования, безударного переключения режимов, дистанционного управления, возможностью работы в промышленной сети и т.д.

После появления дешевых микропроцессоров и аналого-цифровых преобразователей в ПИД-регуляторах используется автоматическая настройка параметров, адаптивные алгоритмы, методы нечеткой логики, генетические алгоритмы. Усложнились структуры регуляторов: появились регуляторы с двумя степенями свободы, с применением принципов разомкнутого управления в сочетании с обратной связью, со встроенной моделью процесса.

Несмотря на долгую историю развития и большое количество публикаций, остается много проблем в вопросах устранения интегрального насыщения, при регулировании в контурах с гистерезисом, нелинейными объектами и транспортной задержкой; практические реализации ПИД-контроллеров не всегда содержат сглаживающие фильтры, чрезмерный шум и внешние возмущения затрудняют настройку параметров. Проблемы усложняются тем, что в современных системах управления динамика часто неизвестна, регулируемые процессы нельзя считать независимыми, измерения сильно зашумлены, нагрузка непостоянна, технологические процессы непрерывны и нестационарны [4].

Часть проблем возникает по причине сложности эксплуатации. Во многих ПИД-контроллерах дифференциальная компонента выключена только потому, что ее трудно правильно настроить. Поэтому основные усилия исследователей в настоящее время сосредоточены на поиске надежных методов автоматической настройки регуляторов, как встроенных в ПИД-контроллер, так и функционирующих на отдельном компьютере.

Описанные контроллеры наиболее хорошо представлены продукцией фирм *ABB*, *Foxboro*, *Honeywell*, *Yokogawa*, *Toshiba*, *Siemens*, *Omron*, Контравт, Овен, НИЛ АП. Указанные выше проблемы настройки, регулирования и эксплуатации систем управления автоматизированными приводами обусловили разработку и применение альтернативных способов

управления, один из которых предложен кафедрой Электроэнергетики и электротехники Череповецкого государственного университета [5].

Предлагаемый способ так называемого импульсного управления основан на формировании управляющего импульса для максимально быстрого достижения выходным сигналом заданной величины, при ее достижении воздействие прекращается (см. рис. 1, 2). Кроме технологического эффекта, заключающегося в снижении уровня шумов, вызванных перерегулированием от внешних возмущений, достигается и экономический эффект, за счет снижения пульсаций тока. Указанное техническое решение защищено Патентом на изобретение № 2504447.

Для проверки предложенного способа управления был создан лабораторный стенд, предназначенный для исследования существующих и новых систем управления электроприводом за счет включения исследуемых реальных электроприводов в набор виртуальных блоков в прикладных программных системах математического моделирования [6]. Данная задача достигается за счет того, что стенд включает в себя последовательно соединенные входами и выходами цифровой преобразователь интерфейсов, микроконтроллер, преобразователь сигналов высокого напряжения, датчики углового перемещения, датчики тока, датчики напряжения, преобразователь внешнего напряжения, один двигатель постоянного тока с независимым возбуждением с возможностью измерения контролируемых параметров, один асинхронный двигатель переменного тока с возможностью измерения контролируемых параметров и двух двигателей постоянного тока без возможности измерения параметров, служащих для создания нагрузки на валах исследуемых двигателей. Стенд выполнен на одном микроконтроллере, имеющем восемь выходных каналов, восемь входных аналоговых каналов и четыре входных цифровых канала. Стенд соединен с компьютером через *USB*-интерфейс. Стенд включает в себя драйвер, позволяющий передавать команды на микроконтроллер и получать данные от микроконтроллера в любой из программ компьютерного моделирования поддерживающих *COM* или *NET framework* технологию (например *MATLAB / Simulink*). Питание микроконтроллера и датчиков стенда может осуществляться от компьютера через *USB*-интерфейс. Стенд выполнен в виде одной платы, размещенной в компактном корпусе. Двигатели для создания нагрузки имеют между валами ременную передачу. На описанный стенд получен Патент на полезную модель № 125717.

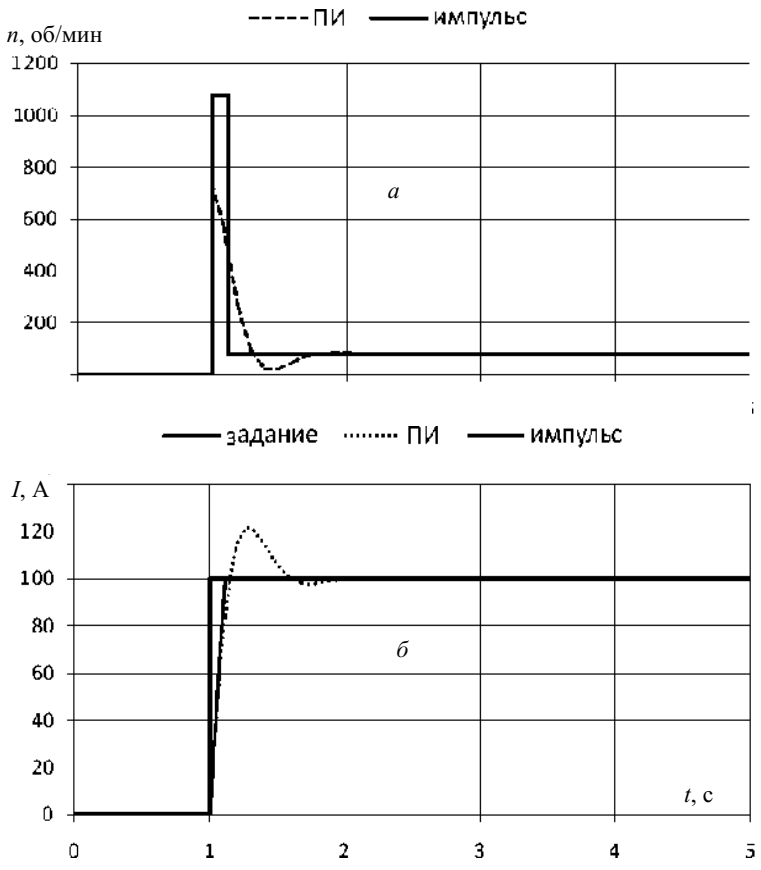


Рис. 1. Форма управляющего сигнала (а) и отклик объекта управления (б) при ПИ- и импульсном регулировании

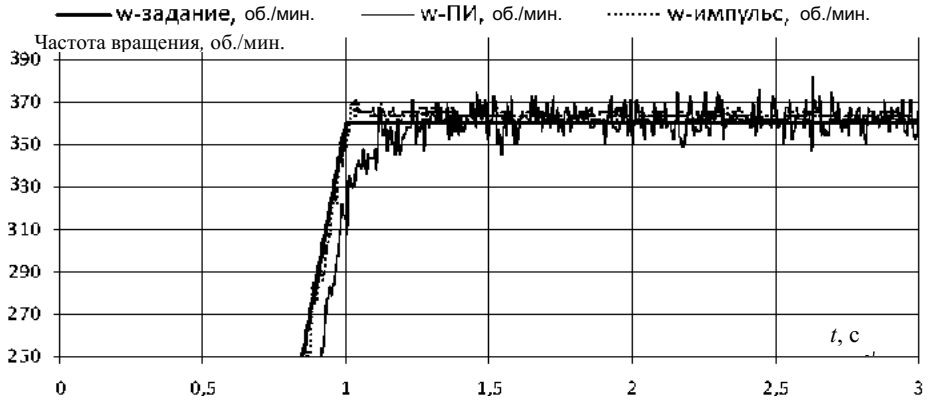


Рис. 2. Пример графиков скоростей, полученных при натурном лабораторном эксперименте

В натурном эксперименте производился разгон и торможение двигателя постоянного тока серии 2ПН90LУХЛ4 ($P_{НОМ}$=0,55кВт, $n_{НОМ}$=1500 об./мин., $n_{МАКС}$=4500 об./мин., $U_{ПИТ}$=220 В). Равномерное вращение осуществлялось в течение 11 с. Во время эксперимента было произведено два последовательных запуска с ПИ- и импульсным управлением. В данном эксперименте при ПИ-управлении потреблено 5,45 Вт, а при импульсном управлении 4,8 Вт (см. рис. 2). Экономия составила 12 %.

Из приведенного на рис. 2 графика видно, что при импульсном управлении реальная скорость вращения якоря более точно соответствует заданию и имеет меньшие пульсации. Кроме этого, на описанном выше стенде были проведены эксперименты по исследованию и управлению электроприводом на базе использования еще одного альтернативного способа управления за счет применения типового регулятора нечеткой логики. То есть вместо блока ПИ-регулятора был применен блок нечеткой логики (*Fuzzy Logic*), на вход которого были поданы сигналы рассогласования и интегрального рассогласования по скорости вращения якоря двигателя. Для реализации блока нечеткой логики использовался программный пакет *Microsoft Visual Studio*, в котором было написано специализированное программное обеспечение позволяющее управлять электроприводом как в режиме ПИ-, так и в режиме *Fuzzy*-регулятора. Передаваемые пользователем и получаемые от стенда данные выводятся в графическое окно в виде графиков и текстовых сообщений. Пользователь может контролировать параметры регуляторов и задание таких величин, как ток возбуждения и напряжение цепи якоря в реальном времени.

На рис. 3 показаны графики скоростей вращения якоря двигателя при различных способах управления, так и без него, полученные при проведении лабораторных экспериментов на стенде.

Как видно из графика, при одинаковых заданиях перерегулирование и время выхода на заданную скорость при *Fuzzy*-управлении значительно меньше по амплитуде, чем при ПИ-управлении.

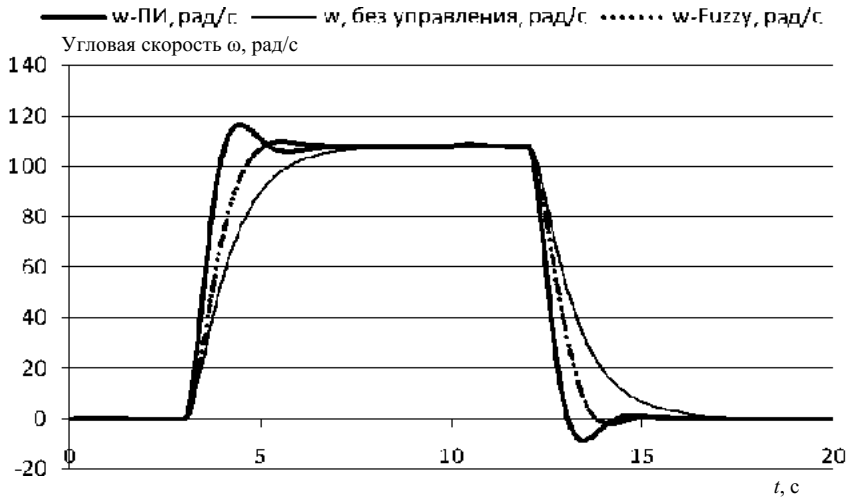


Рис. 3. Скорости вращения якоря

Таким образом, эксплуатируя современные автоматизированные электрические приводы в условиях непрерывных и нестационарных технологических процессов, можно не только избежать проблем настройки и эффективности эксплуатации традиционно применяющихся регуляторов и способов управления, но и добиться существенных технических и экономических результатов.

Литература

1. *Денисенко, В.В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М., 2009.

2. *Денисенко, В.В.* Непараметрическая модель объекта управления в ПИД регуляторах с автоматической настройкой / В.В. Денисенко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 6. – С. 9–13.

3. *Ицкович, Э.Л.* Современные алгоритмы автоматического регулирования и их использование на предприятиях / Э.Л. Ицкович // Автоматизация в промышленности. – 2007. – № 6. – С. 39–44.

4. *Кожевников, А.В.* Совершенствование систем управления приводами прокатных станов для повышения энергоэффективности их работы / А.В. Кожевников // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2012. – № 4 (42). – Т. 1. – С. 11–16.

5. *Кожевников А.В., Сорокин Г.А.* Способ автоматического управления двигателями постоянного тока главных приводов прокатного стана. Патент на изобретение № 2504447, Россия, МПК B21B37/46 – 2011154361/02; Заявлено 29.12.2011, опубл. 20.01.2014. Бюл. № 2. Приоритет 29.12.2011 (Россия).

6. *Сорокин Г.А., Кожевников А.В.* Стенд для исследования систем управления электроприводом. Патент на полезную модель № 125717, Россия, МПК G01R31/34 – 2012121648/07; Заявлено 25.05.2012, опубл. 10.03.2013. Бюл. № 7. Приоритет 25.05.2013 (Россия).