

Система управления асинхронным двигателем на основе искусственного интеллекта

Е. В. Морозова^{1,2}, А. Н. Самойленко¹,
Р. В. Барановский¹

¹Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

²Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического
университета
konvvert@yandex.ru

А. С. Морозова

Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического
университета
konvvert@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрена система управления с применением искусственного интеллекта на примере асинхронного двигателя с частотным преобразователем. Управление реализовано с использованием регулятора нечеткого вывода. Проведен обзор работ в данной области. Определены оптимальные параметры нечеткого регулятора. Имитация реализована в среде динамичного моделирования технических систем SimInTech.

Ключевые слова: моделирование; система управления; нечеткий регулятор; искусственный интеллект; асинхронный двигатель

I. ВВЕДЕНИЕ

Нечеткое управление применяется при недостаточном знании объекта управления (его передаточной функции), но при наличии опыта управления. На основании этого опыта эксперт формирует базу правил нечеткого регулятора. Примером может быть водяной насос, параметры которого (потребление воды, момент инерции всей системы) изменяются в широком диапазоне и вызывают большие затруднения при вычислении. При этом эксперт способен достаточно хорошо управлять таким объектом, используя лишь показания приборов и накопленный опыт.

Применение регулятора нечеткого вывода также может быть обосновано нелинейностью объекта управления. Применение линейных пропорционально-интегрально-дифференцирующих (ПИД) регуляторов в таких системах чаще всего приводит к низкому качеству управления: большому значению перерегулирования, времени переходного процесса и установившейся ошибки.

Во многих работах рассматривались различные типы управления [1–4]. Сравнение нечетких регуляторов с классическими на основе обзора литературных источников достаточно подробно рассмотрено в работе [3].

II. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Объектом управления является асинхронный двигатель, управляемый преобразователем частоты. В работе [4] представлено подробное описание асинхронного двигателя с частотным преобразователем и области его применения.

Модель двигателя представлена в виде аperiодического звена второго порядка

$$W_o(s) = \frac{1}{2s^2 + 3s + 1} \quad (1)$$

Система управления состоит из объекта управления и ПИД-регулятора, охваченных обратной связью, блока нечеткой адаптации (БНА) параметров ПИД-регулятора и источника задающего сигнала. Ниже приведена ее структурная схема (рис. 1).

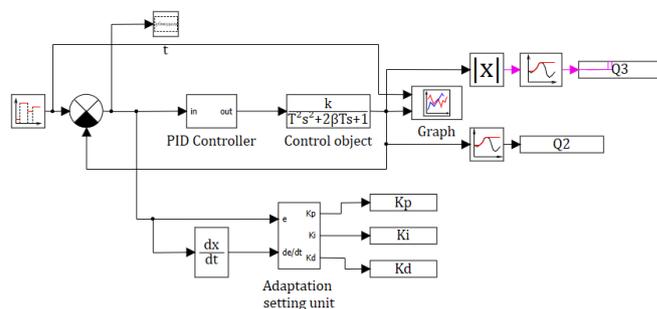


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Основываясь на работе [1], в которой обосновывается целесообразность применения нечеткого регулятора, в качестве основного регулирующего звена был выбран ПИД-регулятор с адаптацией его параметров настройки K_p , K_i и K_d посредством БНА. Таким образом, использование БНА позволяет повысить робастность системы. Ниже приведена структурная схема ПИД-регулятора (рис. 2).

III. СОЗДАНИЕ БАЗЫ ПРАВИЛ

Для корректировки коэффициентов при составлении логики управления использовали следующие правила [2]:

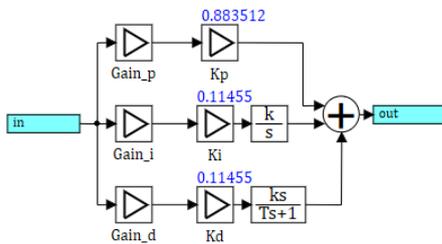


Рис. 2. Структурная схема ПИД-регулятора

БНА принимает на вход ошибку регулирования e и скорость ее изменения \dot{e} и выдает на выход значения коэффициентов пропорциональной, интегральной и дифференцирующей составляющих ПИД-регулятора.

Для применения методов нечеткой логики необходимо преобразовать четкие переменные в нечеткие, когда об истинности высказывания можно судить, основываясь на значении его функции принадлежности. Диапазон значений входной переменной разбивается на подмножества NI, NM, NS, Z, PS, PM, PL. В пределах каждого из них строится функция принадлежности [2]

Для выходной переменной в условиях нашей задачи диапазон разбивается на 4 подмножества значений Z, PS, PM, PL от нуля до некоторого положительного значения. Это связано с тем, что коэффициенты ПИД-регулятора не могут быть отрицательными.

Процесс управления состоит из следующих основных этапов [3]:

- Фазификация входных переменных, представляющая собой процедуру нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств, на основе четко определенных исходных данных.
- Определение нечеткого логического вывода с помощью блока правил.
- Дефазификация выходных переменных в системах нечеткого вывода, представляющая собой процедуру или процесс нахождения обычного (четко определенного) значения для каждой из подмножеств. Цель дефазификации заключается в том, чтобы, используя результаты логического заключения, получить значение каждой из выходных переменных, которое может быть использовано специальными устройствами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода.

Процесс настройки с помощью блока нечеткой логики следует начинать с приближенного вычисления начальных значений коэффициентов регулятора. После формулируется функция принадлежности. В данной работе функция принадлежности для каждого подмножества имеет треугольную форму.

Диапазоны параметров функций принадлежности для входных сигналов составляет $[-1,5...1,5]$, для выходных $[0...1]$.

- Увеличение K_p ведёт к ускорению переходного процесса, уменьшению устойчивости и статической ошибки. Уменьшение K_p ведёт к замедлению переходного процесса, увеличению устойчивости (уменьшение колебательности) и увеличению статической ошибки.
- Увеличение K_i приводит к уменьшению статической ошибки и к увеличению его колебательности. Уменьшение K_i приводит к увеличению статической ошибки, но уменьшает его колебательность.
- Увеличение K_d приводит к повышению устойчивости процесса и его быстродействию, но при этом регулятор становится восприимчивым к высокочастотным шумам; уменьшение K_d приводит к уменьшению устойчивости и быстродействия процесса, но при этом высокочастотные помехи оказывают меньшее влияние на процесс управления.

Были использованы следующие закономерности для вычисления параметров [2]:

1. Чем больше по модулю ошибка рассогласования и её производная, тем больше должна быть K_p и тем меньше K_i и K_d .
2. Чем меньше по модулю ошибка рассогласования и её производная, тем меньше должна быть K_p и тем больше K_i и K_d .

Ниже приведены правила для коэффициентов ПИД-регулятора (табл. 1, табл. 2).

ТАБЛИЦА I Правила для K_p

		e							
		+			0	-			
		LP	MP	SP	Z	SN	MN	LN	
$\dot{e} = de/dt$	+	LP	LP	LP	MP	SP	MP	LP	LP
		MP	LP	MP	SP	SP	SP	MP	LP
		SP	MP	SP	SP	Z	SP	SP	MP
	0	Z	SP	SP	Z	Z	Z	SP	SP
	-	SN	MP	SP	SP	Z	SP	SP	MP
		MN	LP	MP	SP	SP	SP	MP	LP
LN		LP	LP	MP	SP	MP	LP	LP	

ТАБЛИЦА II Правила для K_i и K_d

		e							
		+			0	-			
		LP	MP	SP	Z	SN	MN	LN	
$\dot{e} = de/dt$	+	LP	Z	Z	SP	MP	SP	Z	Z
		MP	Z	SP	MP	MP	MP	SP	Z
		SP	SP	MP	MP	LP	MP	MP	SP
	0	Z	MP	MP	LP	LP	LP	MP	MP
	-	SN	SP	MP	MP	LP	MP	MP	SP
		MN	Z	SP	MP	MP	MP	SP	Z
LN		Z	Z	SP	MP	SP	Z	Z	

Основываясь на полученной базе правил, была составлена логическая функция управления, фрагмент

которой приведен ниже (рис. 3):

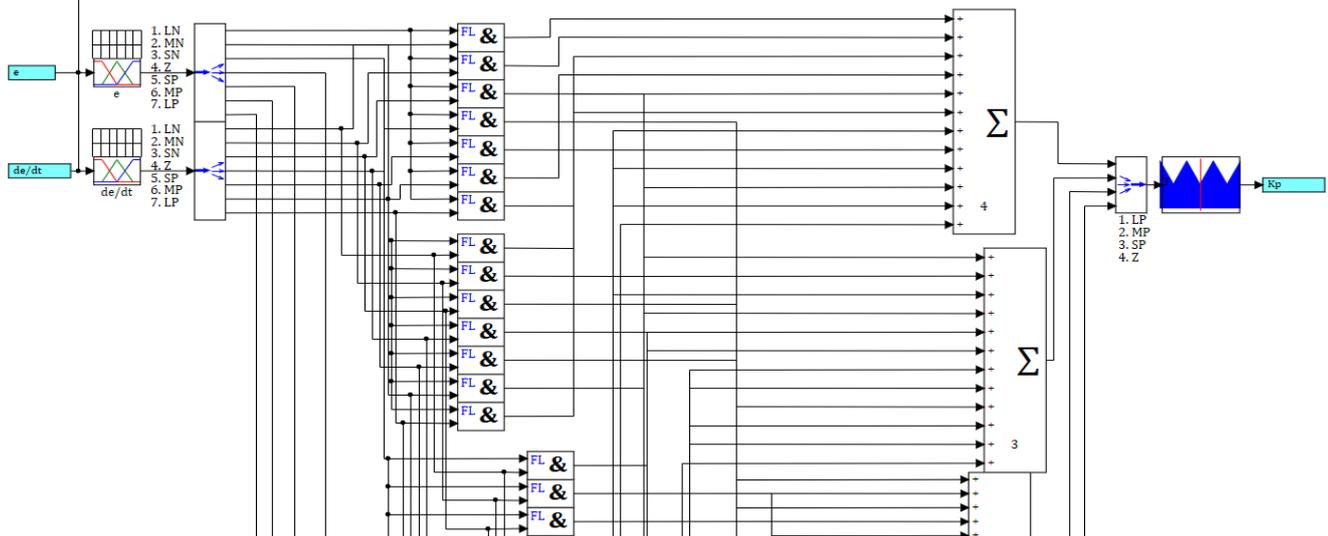


Рис. 3. Фрагмент внутренней структуры БНА для вычисления K_p

IV. ОПТИМИЗАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Применение БНА в качестве источника позволяет избавиться от необходимости настраивать параметры ПИД-регулятора, но требует настройки параметров функций принадлежности для входящих и выходящих сигналов. Эту проблему можно решить, если в качестве параметров функций принадлежности использовать не абсолютные, а относительные значения. Эти значения корректируются с помощью масштабирующих коэффициентов $Gain_p$, $Gain_i$ и $Gain_d$.

Масштабирующие коэффициенты не могут быть определены однозначно. Следовательно, для нечеткого ПИД регулятора требуется решить задачу оптимизации, а именно задачу выбора значений, при которых критерии качества переходного процесса достигали допустимого уровня.

В качестве критериев переходного процесса были выбраны время переходного процесса $t < 0.3c$ и перерегулирование 10%. В качестве задающей функции используется ступенчатая функция.

Оптимизация осуществлялась по всему переходному процессу. В результате оптимизации были получены следующие оптимальные значения коэффициентов:

$$Gain_p = 51,62$$

$$Gain_i = 28,99$$

$$Gain_d = 49,29$$

Эти коэффициенты позволяют достичь времени переходного процесса $t = 0,29$ с и перерегулирования 10%.

Важно отметить, что оптимизация выполняется единожды и далее изменение параметров ПИД регулятора осуществляется с помощью БНА.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расчеты проводились в среде динамического моделирования SimInTech. Переходный процесс, полученный при моделировании, представлен на рис. 4. Для имитации изменения параметров системы коэффициент демпфирования объекта управления менялся от 1 до 2 в течение 5 с. Можно заметить, что выходной сигнал устойчивый с перерегулированием 10% и временем затухания 0,3 с. Статическая ошибка в установившемся режиме составляет 2%.

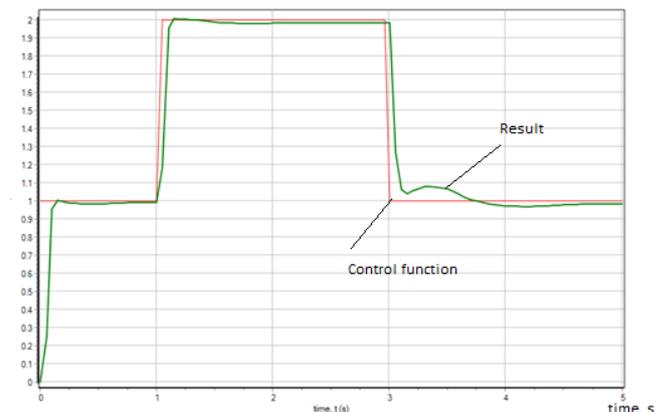


Рис. 4. График переходного процесса

В качестве обоснования целесообразности применения БНА ниже приведен график переходного процесса без его использования (рис. 5). Коэффициенты ПИД-регулятора представляют собой фиксированные значения, полученные блоком БНА во время предыдущей симуляции.

$$K_p = 0,866$$

$$K_i = 0,113$$

$K_d = 0,113$

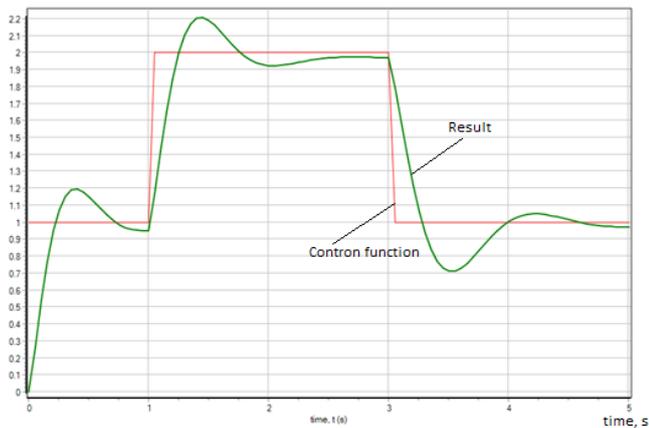


Рис. 5. График переходного процесса без БНА

Из полученного графика видно, что такая система отличается меньшим быстродействием и большим перерегулированием 20 %.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы можно сделать выводы, которые согласуются с известными работами в этой области:

- Использование ПИД-регулятора с адаптацией его параметров посредством БНА существенно эффективней, чем использование отдельно ПИД-регулятора или отдельно нечеткого регулятора.
- Использование БНА позволяет повысить робастность системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кудинов Ю.И., Колесников В.А., Дургарян И.С., Пашенко А.Ф. Построение и настройка нечёткого адаптивного ПИД-регулятора // Информатика и системы управления. 2016. №3 (49). URL: http://ics.khstu.ru/media/2016/N49_10.pdf (дата обращения: 30.03.2020).
- [2] Кузнецов А.В., Макарянц Г.М. Синтез нечёткого регулятора при помощи пакета прикладных программ системы Matlab: Метод. пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2016. 59 с. URL: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-materialy/Sintez-nechetkogo-regulyatora-pri-pomoshi-paketa-prikladnyh-programm-sistemy-Matlab-Elektronnyi-resurs-metod-posobie-71517/1/Kuznetsov%20A.V.%20Синтез%20нечёткого%20регулятора%20при%20помощи%20%20Matlab%202016.pdf> (дата обращения: 30.03.2020).
- [3] Новиков С.И., Шахнович В.Р., Сафронов А.В. Методы нечёткой логики в задачах автоматизации тепловых процессов электростанций // Вестник ИГЭУ. 2010. Вып. 4. С. 72-75. URL: <http://ispu.ru/files/c.72-75.pdf> (дата обращения: 30.03.2020).
- [4] Морозова О. И. Применение искусственного интеллекта для управления асинхронным двигателем с частотным преобразователем / О.И. Морозова // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2015. № 1(42). С. 64-68. URL: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/4155/> (дата обращения: 30.03.2020).