

- R. Isermann // ACS. – 1996. – № 5. – S. 9-20. (Ger.)
4. Euringer M. Horchverfugbate und fehlersiechere Prozessautomatisierung mit redundanten System / M. Euringer, W. Reichert, T. Schlierf // Siemens Energie und Automation. – 1988. – № 6. – S. 334-336. (Ger.)

Рецензент: Ю.Л. Саенко  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 18.03.2014

УДК 681.5.004.9

© Черевко Е.А.\*

### УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛИКОВ РОЛЬГАНГОВ ТЛС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗЗИ-ЛОГИКИ

*В статье рассмотрена возможность использования фаззи-логики для управления асинхронным электроприводом роликов рольгангов ТЛС на примере регулирования, ориентированного на поток.*

**Ключевые слова:** асинхронный электропривод, регулирование ориентированное на поток, фаззи-логика, фаззи-контроллер, фаззи-ПИ-регулятор.

**Черевко О.О.** *Управління електроприводом роликів рольгангів ТЛС з використанням фазі-логіки.* У статті розглянута можливість використання фазі-логіки для керування асинхронним електроприводом роликів рольгангів ТЛС на прикладі регулювання, орієнтованого на потік.

**Ключові слова:** асинхронний електропривод, регулювання орієнтоване на потік, фазі-логіка, фазі-контролер, фазі-ПІ-регулятор.

**O.O. Cherevko.** *Operation control of the electric rolls of TSM using fuzzy logic.* The article discusses the use of fuzzy logic for controlling asynchronous electric drive of rollers on the roller tables TSM on the example of regulation-oriented stream.

**Keywords:** asynchronous electric drive, regulation-oriented stream, fuzzy logic, fuzzy controller, fuzzy PI controller.

**Постановка проблемы.** Более чем в 90 % промышленных систем электроприводов применяются асинхронные электродвигатели благодаря их высокой выносливости, надежности, высокому КПД и дешевизне. Но указанные преимущества трехфазных асинхронных двигателей снижаются сложностью их регулирования. Основные недостатки их состоят в нелинейности из-за эффекта насыщения и нестабильности электрических параметров, сильно изменяющихся от температуры. Эти факторы существенно затрудняют регулирование, так как в практике приходится при проектировании систем регулирования использовать существенно упрощенные модели. Поскольку сложные процессы легче регулируются с применением фаззи-логики, чем традиционными методами техники регулирования, то предлагается использовать регулирование посредством фаззи-логики.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Теоретические и практические аспекты использования фаззи-логики в системах управления нашли отражение во многих трудах отечественных и зарубежных ученых. Весомый вклад в решение проблем в этой активно развивающейся области внесли В. Архангельский, И. Богаенко, Г. Грабовский, Н. Рюмшин, В. Галушко и др. В настоящее время на многих технологических объектах применение управляемого по скорости частотно-регулируемого электропривода переменного тока дает значи-

\* аспирант, ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [cherevko\\_e.a@mail.ru](mailto:cherevko_e.a@mail.ru)

тельную экономию электроэнергии. Опыт применения частотно-регулируемого электропривода показывает сокращение электроэнергии на 40-50 %, уменьшение расхода воды и тепла на 20 %, а также исключает гидравлические удары в системах водоснабжения, приходящие к аварийным ситуациям. Срок окупаемости частотно-регулируемого электропривода в зависимости от их мощности составляет 0,5-1,5 года с учетом того, что при переводе установки с нерегулируемым к установке с регулируемым по скорости электроприводом не проводится замена существующих электродвигателей.

**Цель статьи** – на основе существующих теоретических и практических материалов разработать систему управления асинхронным электроприводом с использованием фаззи-логики.

**Изложение основного материала.** На прокатных станах широко используются схемы питания нескольких асинхронных двигателей от общего преобразователя частоты. Указанные схемы часто используются для индивидуального электропривода роликов рольгангов.

Для параллельной работы двигателей существенным критерием является нагрузка. Различают механически жесткое и эластичное сопряжение двигателей с нагрузкой. В первом случае параллельно работающие двигатели ведут себя как отдельный привод большой мощности. Во втором случае возможно динамическое или статическое расхождение скоростей, но в обоих случаях достигается положительный эффект на одном преобразователе частоты.

Регулирование, ориентированное на поток (векторное регулирование), в параллельном сопряжении двигателя с инвертором применяется тогда, когда имеет место жесткое механическое соединение двигателей с приводными механизмами. Регулирование, ориентированное на поток, позволяет разделить поток и вращающий момент асинхронных двигателей и тем самым обеспечить высокودинамичные режимы. Для данного метода регулирования необходимо знать величину и угловое положение вектора потока ротора. Эти величины обычно рассчитывают с помощью модели, поскольку их измерение весьма затруднено. В качестве модели потока служит чаще всего так называемая  $i - \omega$ -модель, которая используется в качестве входной величины вектора тока статора, а также механической и угловой скорости.

Структура такой модели представлена на рис 1, откуда видно, что для регулирования системы в целом обратная связь в модели по фактической величине скорости оказывает существенное влияние на модель потока, угол вектора потока и тем самым на величины потока и вращающего момента.

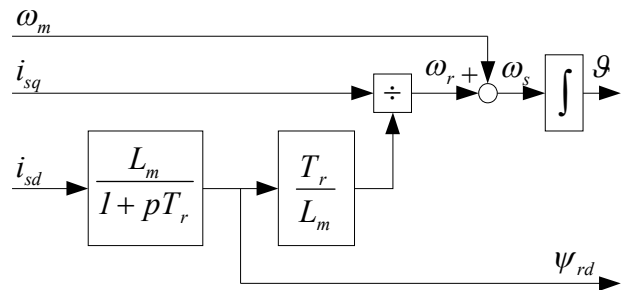


Рис. 1 – Структура модели потока ротора  $i - \omega$

Рассмотрим управление асинхронным двигателем ориентированное на поток. Принципиальная структура системы управления, ориентированной на поток, представлена на рис. 2. По схеме регулирование асинхронного двигателя осуществляется аналогично двигателю постоянного тока независимого возбуждения. Модель потока рассчитывается по двум токам статора  $i_{su}$  и  $i_{sv}$ , а также по угловой скорости ротора  $n$ .

Угол между потоками статора и ротора преобразует переменные процесса, ориентированные на статор, в переменные, ориентированные на поток.

Собственно система регулирования состоит из двух ветвей, каждая из которых состоит из двух соединенных последовательно ПИ-регуляторов. Верхняя ветвь содержит регуляторы потока 4 и прямого тока 5, а в нижнюю ветвь входят регуляторы частоты вращения 6 и вращающего момента 7. Входной сигнал регулятора 6 нормируется как разность заданной скорости  $n_3$  и фильтрованной частоты вращения  $n$ , поступающего с выхода фильтра 1.

Для оптимизации процесса регулирования, ориентированного на поток, все компоненты процесса должны рассматриваться отдельно. В данной работе, например, для регулятора тока 5 применен метод бетрагсоптимума, а для регулятора частоты вращения 6 – метод симметричного оптимума. На разработку проекта системы регулирования, ориентированной на поток, включая разработку собственно регуляторов и внедрение модели потока, потребовалось три человека-месяца [1].

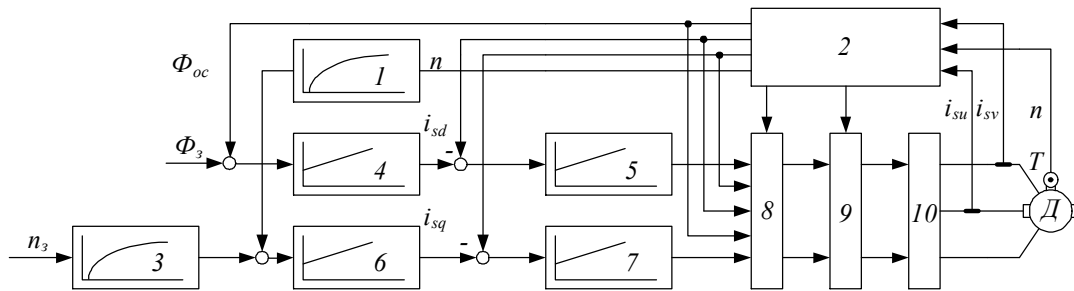


Рис. 2 – Структурная схема системы регулирования асинхронного двигателя, ориентированная на поток: 1 – фильтр; 2 – модель потока и блок обработки измеряемых величин; 3 – инерционный блок; 4 – регулятор потока; 5 – регулятор прямого тока; 6 – регулятор частоты вращения; 7 – регулятор вращающегося момента  $i_{sd}$ ; 8 – блок разделения сигналов; 9 – блок преобразования координат; 10 – блок широтно-импульсной модуляции;  $\Phi_3$  – заданный поток;  $\Phi_{oc}$  – фактический поток; Д – асинхронный двигатель; Т – тахогенератор

Циклы регулирования составили:

- для внутренних регуляторов тока, расчета по модели потока и преобразования координат – 100 мкс;
- для внешних регуляторов частоты вращения и потока – 500 мкс при реализации системы на сигнальном процессоре (DPS) типа TMS 320C31 – 40 МГц.

В одной из версий переходного процесса при реверсе двигателя от  $-1000$  об/мин до  $+1000$  об/мин новая установившаяся частота вращения достигалась за  $0,25$  с без перерегулирования. Это важное качество регулирования, однако, достигалось при недостаточной робастности системы. В случае нагрева двигателя качество регулирования ухудшалось. При незначительных отклонениях параметров двигателя такая оптимизированная система обеспечивала посредственные результаты.

Известно, что сложные процессы легче регулируются с применением фаззи-логики, чем традиционными методами техники регулирования. При совершенствовании техники регулирования асинхронных двигателей фирмы «Texas Instruments» и «INFORM» предлагают новые решения в управлении на базе Fuzzy-Logic. При этом требуется существенно меньше времени для реализации системы фаззи-регулирования по сравнению с обычными системами [1-4].

#### **Регулирование потока с помощью фаззи-логики.**

Для построения системы регулирования с фаззи-логикой достаточно традиционную систему регулирования потока в два шага дополнить фаззи-логикой. Дополнение заключается в отображении нелинейной зависимости между частотой скольжения и током статора. На рис. 3 показана схема этого комбинированного регулирования из трех внутренних и одного внешнего контуров. Внутренние контуры регулируют три линии тока асинхронного двигателя посредством ПИ-регуляторов. Внешний контур определяет частоту скольжения и он построен также на ПИ-регуляторе.

Частота скольжения подается на вход фаззи-блока 1, который вырабатывает уставку для тока статора. Главной задачей фаззи-блока является поддержание постоянства тока намагничивания в каждой рабочей точке. Оптимальный ток намагничивания зависит от частоты скольжения, постоянной времени ротора, коэффициента рассеяния ротора.

Частота тока статора  $n_1$  является суммой измеряемой частоты тока ротора  $n$  и частоты скольжения  $n_2$ , которая интегрируется в блоке 2, модулируется функцией  $\sin/\cos$  в блоке 3 и перемножается с уставкой частоты тока статора. Путем расщепления в блоке 4 получают уставки трех линий тока  $i_{sur}$ ,  $i_{svr}$ ,  $i_{swr}$ .

Правила фаззи-блока подготавливаются автоматически посредством нейро-фаззи-модуля на основании имеющихся экспериментальных данных. В нейро-фаззи-технологиях используются методы ИНС для генерирования сложных фаззи-систем. В результате тренировки нейро-фаззи получается легко воспроизводимая и варьируемая фаззи-система. Напротив, результат тренировки обычной ИНС не является непосредственно воспроизводимым.

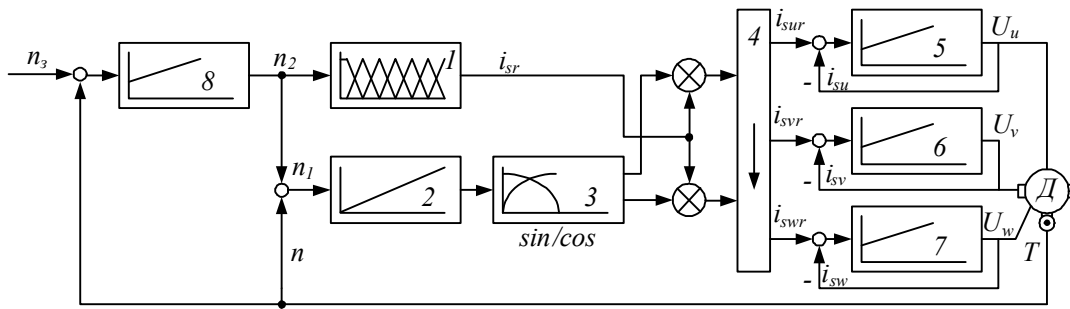


Рис. 3 – Простейшая схема фаззи-регулирования на базе метода регулятора потока: 1 – фаззи-блок задания уставки тока статора; 2 – блок интегрирования; 3 – блок модуляции; 4 – блок расщепления входного сигнала на уставки трех линий тока; 5, 6, 7 – ПИ-регуляторы трех линий тока; 8 – ПИ-регулятор частоты скольжения  $n_2$ ; Д – асинхронный двигатель; Т – тахогенератор;  $n_3$  – сигнал задания частоты скольжения ротора  $n_2$

Переходные процессы в простой фаззи-системе 1 в сравнении с системой, ориентированной на поток 2, показаны на рис. 4. Из сравнения следует, что перерегулирование в простой фаззи-системе (кривая 1) может находиться на том же уровне, что и в системе, ориентированной на поток (кривая 2), но новая установившаяся скорость достигается в два раза позже. На разработку и оптимизацию фаззи-потока регулятора потребовалось лишь четыре человеко-дня. Регулятор выполняет расчет за 150 мкс на процессоре TMS 320C31 с частотой 40 МГц.

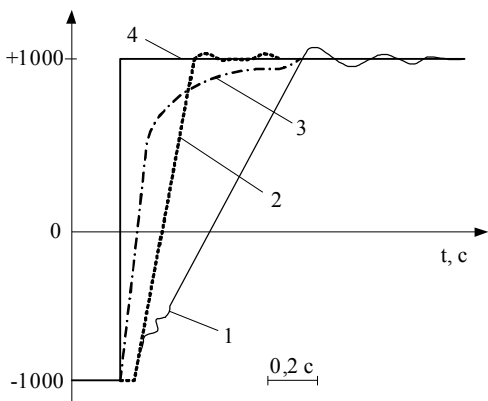


Рис. 4 – Графики переходных процессов при управлении асинхронным двигателем: 1 – фаззи-регулирование по схеме рис. 3; 2 – обычное регулирование, ориентированное на поток по схеме рис. 2; 3 – фаззи-регулирование по схеме рис. 5; 4 – задание скорости двигателя

с обычным регулированием, ориентированным на поток (кривая 2). Фаззи-регулятор потока (кривая 3) обеспечивает достижение заданной скорости почти так же быстро, как и обычный регулятор, ориентированный на поток (кривая 2), и при этом исключает перерегулирование.

Эксперименты показали, что второй фаззи-регулятор лучше реагирует на изменения параметров двигателя и его нагрев. Он поддерживает более высокое качество регулирования по сравнению с регулятором, ориентированным на поток. Эти результаты обусловлены в первую очередь нелинейностью характеристик фаззи-ПИ-регулятора. При значительных отклонениях задания на скорость он реагирует сильнее, чем регулятор, ориентированный на поток. По мере приближения фактической скорости к заданной, регулирование становится более мягким. Робастность регулятора проявляется также и при изменениях параметров.

#### Структура системы с двумя фаззи-контроллерами.

Для улучшения описанных выше результатов в схеме рис. 3 ПИ-регулятор внешнего контура заменяем фаззи-ПИ-регулятором, рис. 5. Этот фаззи-ПИ-регулятор использует в качестве входов не П- и И-составляющие, а D- и R-составляющие и интегрирует выходной сигнал.

В отличие от линейного ПИ-регулятора фаззи-ПИ-регулятор реализует существенно нелинейное характеристическое поле. Расширенная структура регулирования характеризуется лучшими динамическими режимами регулирования по сравнению с первым фаззи-вариантом. Вторым фаззи-блок оценивает частоту скольжения. График 3 на рис. 3 иллюстрирует сравнение переходных процессов с первым фаззи-регулированием потока (кривая 1), а также

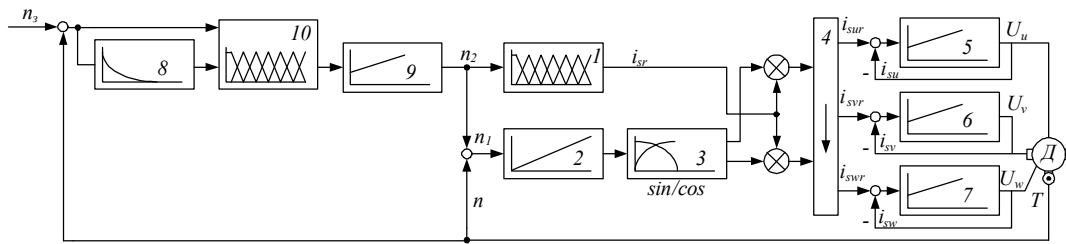


Рис. 5 – Расширенная схема фаззи-регулирования: 8 – блок дифференцирования; 9 – ПИ-регулятор; 10 – фаззи-блок; позиции 1 – 7 соответствуют позициям рис. 3

Расширение фаззи-системы регулирования, построенной на базе первого варианта, потребовало дополнительных затрат времени, равных одному человеку-дню на проектирование фаззи-блока и два человека-дня на оптимизацию системы в целом. Весь регулятор, построенный на модуле TMS 320C31 с частотой 40 МГц, затрачивает на расчеты 200 мкс.

Данный метод показывает, что в случае, когда традиционная техника регулирования требует большого объема проектных работ, оптимизация посредством фаззи-логики осуществима более просто. Если, например, на разработку и оптимизацию обычной модели затрачивается три месяца, то на решение задачи с такими же качественными показателями на базе фаззи-регулирования потока достаточно семи дней.

Используя фаззи-регулирование представляется возможность построения и более крупных фаззи-систем при их комбинации с обычными комплексами автоматизации, ориентированными на циклы функционирования в диапазонах времени, определяемых миллисекундами.

### Выводы

Исследована возможность управления асинхронным электроприводом рольганга при помощи фаззи-логики. Оптимизация системы посредством фаззи-логики реализуется достаточно просто, следовательно упрощается работа управляющего персонала, повышается надежность, система функционирует в диапазонах времени, определяемых миллисекундами.

### Список использованных источников:

1. Euringer M. Digitate Signal prozessoren TMS 320 C3x / M. Euringer // Texas Instruments. – 1994. – № 11. – P. 115-118.
2. Lattasch M. Fuzzy TECH User's Manual / M. Lattasch // INFORM GmdH. – 1995. – № 6. – P. 95-111.
3. Ружков Г. Сигнальные процессоры – особенности и приложения / Г. Ружков // Автоматика и информатика. – 1996. – № 3. – С. 5-18.
4. Euringer M. Digital Control Applications with the TMS 320 Family / M. Euringer // Texas Instruments. – 1995. – № 3. – P. 98-102.

### Bibliography:

1. Euringer M. Digitate Signal prozessoren TMS 320 C3x / M. Euringer // Texas Instruments. – 1994. – № 11. – P. 115-118.
2. Lattasch M. Fuzzy TECH User's Manual / M. Lattasch // INFORM GmdH. – 1995. – № 6. – P. 95-111.
3. Ruzhkov G. Signal processors – Features and Applications / G. Ruzhkov // Automation and Informatics. – 1996. – № 3. – P. 5-18. (Rus.)
4. Euringer M. Digital Control Applications with the TMS 320 Family / M. Euringer // Texas Instruments. – 1995. – № 3. – P. 98-102.

Рецензент: В.С.Зайцев  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 18.03.2014