

Черный С. П., Гусаров А. А.
S.P.Chernyj, A.A.Gussarov

НЕЧЕТКАЯ МНОГОКАСКАДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

MULTISTAGE DIRECT CURRENT DRIVE FUZZY CONTROL SYSTEM



Черный Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kepau@knastu.ru.
Mr.Sergej P. Chernyi – PhD of Engineering, Associate Professor at the Department of Electro Drive Engineering and Industrial Automation, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; e-mail: kepau@knastu.ru



Гусаров Александр Александрович – студент Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kepau@knastu.ru.
Mr.Alexander A. Gussarov – undergraduate student, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; e-mail: kepau@knastu.ru

Аннотация. В работе представлен синтез нечетких логических регуляторов с применением различных алгоритмов вывода. Кроме того, произведен сравнительный анализ классической системы управления электроприводом с нечеткой многокаскадной системой регулирования и простейшими нечеткими системами, реализующими классические законы управления.

Summary. This paper presents a synthesis of fuzzy logic controllers with various fuzzy inference methods. In addition, a comparative analysis was made of a classical electric drive control system with a multistage fuzzy control system and with simple fuzzy systems implementing the classical laws of control.

Ключевые слова: нечеткий логический регулятор, система управления, многокаскадный логический регулятор, электропривод постоянного тока, нечеткое моделирование.

Key words: fuzzy logic controller, control system, multistage fuzzy logic controller, direct current drive, fuzzy modeling.

УДК 6283.621.3

В настоящее время широкое распространение получают интеллектуальные системы управления и принятия решений. Проектирование систем регулирования с применением мягких вычислений представляет собой проблему, не поддающуюся алгоритмизации. Синтез и анализ нечетких регуляторов для управления техническими процессами является актуальной задачей в настоящее время и имеет широкие перспективы развития в будущем. Нечеткое моделирование оказывается особенно удобным, когда при описании технических систем присутствует некоторая неопределенность, которая существенно затрудняет применение точных количественных методов. В большинстве сложных систем достаточно трудно обеспечить полную наблюдаемость объекта управления. Также для таких систем управления весьма сложно получить полное математическое описание объекта, что приводит к необхо-

димости принимать существенное количество допущений, которое в значительной степени приводит к снижению точности работы системы [1].

В таких проблемных ситуациях системы управления на базе нечеткой логики дают более адекватные результаты по сравнению с классическими подходами без существенной потери качества управления. Синтез нечеткого регулятора может осуществляться на основе общих представлений эксперта или специалиста о поведении системы.

На сегодняшний день системы, построенные на принципах нечеткой логики, находят свое применение во многих сферах человеческой деятельности, и области их использования постоянно расширяются. Такие системы используются при управлении сложными технологическими процессами, при управлении бизнес-процессами, в системах поддержки принятия решений, при создании различных приборов и бытовой техники.

Одним из направлений развития нечетких систем управления является построение регулятора, использующего многокаскадную схему нечеткого вывода [3]. Введение многокаскадности позволяет существенно повысить интеллектуальность системы, что впоследствии позволит значительно расширить диапазон применения нечетких систем. Первый каскад нечеткого регулятора можно рассматривать как экспертную систему, которая на основе имеющихся входных данных производит управление регуляторами, находящимися во втором каскаде. Рассмотрим синтез такого регулятора на примере двигателя постоянного тока.

Объект регулирования представляет собой электропривод постоянного тока с независимым возбуждением, который питается от управляемого реверсивного тиристорного преобразователя с двумя выпрямительными группами, встречно-параллельной схемой включения и раздельным управлением группами. Трансформатором обеспечивается согласование номинальных значений сети, питающей управляемый преобразователь, его выходного напряжения и тока якоря двигателя [4].

Классическая система управления электроприводом состоит из двух контуров регулирования – тока якоря и скорости. Контур тока включает в себя силовую часть электропривода с выходом по току якоря $I_{я}$, цепь отрицательной обратной связи по току якоря и регулятор. Контур скорости двигателя включает в себя замкнутый контур тока, цепь отрицательной обратной связи по скорости двигателя и регулятор скорости (см. рис. 1).

Структурная схема электропривода построена с учетом целого ряда допущений: ток цепи якоря двигателя непрерывный; реакция якоря двигателя отсутствует; регулировочная характеристика управляемого преобразователя линейна; момент инерции, приведенный к валу двигателя, постоянен; не учитывается инерционность датчиков тока и скорости, а также ограничения тока якоря [4, 127].

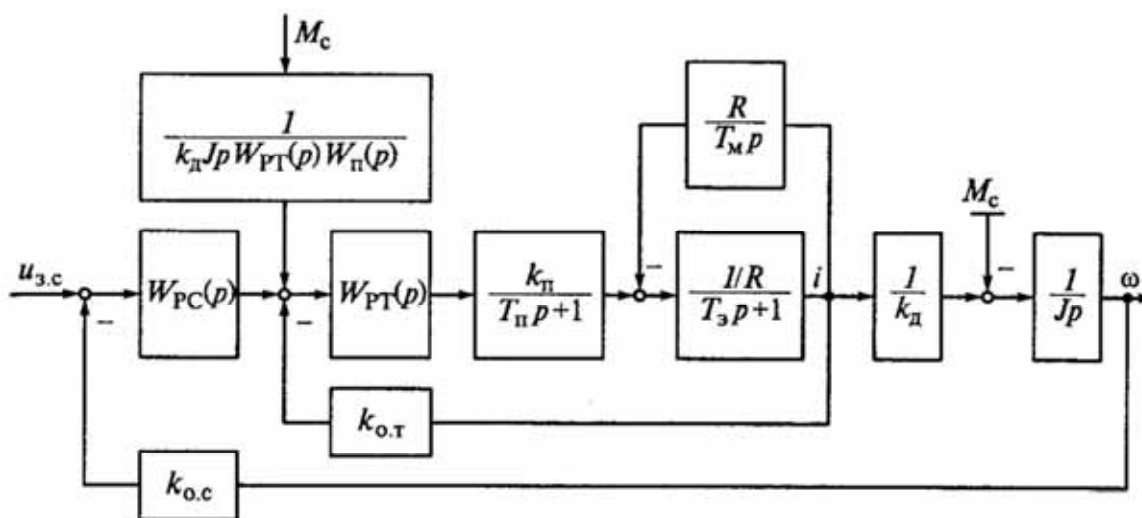


Рис. 1. Структурная схема электропривода

Классическая система управления реализована на базе двух ПИ-регуляторов, настроенных на технический оптимум и расположенных, соответственно, в контурах тока и скорости. Учитывая существенное количество вышеприведенных допущений, произведем замену классического ПИ-регулятора в контуре скорости рассматриваемой системы электропривода

на нечеткий регулятор. Синтез и моделирование нечеткой многокаскадной системы управления производится с применением пакета Fuzzy Logic Toolbox для MatLab [2; 5].

Нечеткий регулятор будет состоять из двух каскадов (см. рис. 2), использующих в своей основе алгоритмы вывода Мамдани и Сугено соответственно. Такой выбор обусловлен, прежде всего, необходимостью структурной реализации нечеткой экспертной системы, сложностью согласования нечетких регуляторов в первом и втором каскадах, а также существенным отличием диапазонов информационных входных сигналов. Кроме того, необходимо отметить, что для придания моделируемой системе некоторых свойств универсальности второй каскад системы управления будет содержать абсолютно одинаковые нечеткие логические регуляторы. На согласующий регулятор первого каскада возлагаются функции предварительной обработки входных сигналов, их масштабирования и нормализации относительно величины сигнала ошибки. Итоговое управляющее воздействие многокаскадного нечеткого регулятора будет складываться из сигналов управления, формируемых регуляторами второго каскада, использующими алгоритм вывода Сугено первого порядка.

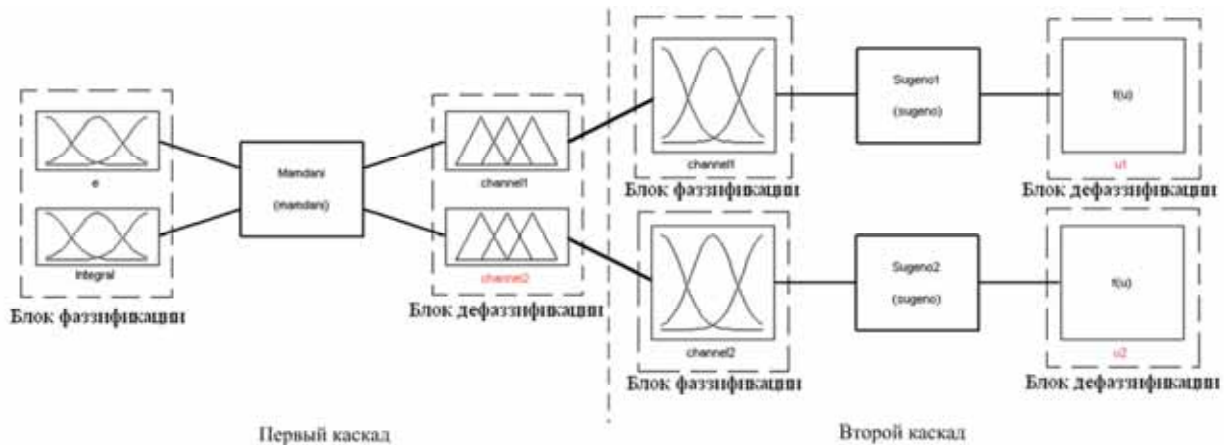


Рис. 2. Многокаскадный нечеткий регулятор

Многокаскадный регулятор имеет два входа, которым соответствуют входные лингвистические переменные «ошибка регулирования» и «интеграл ошибки». Входная лингвистическая переменная e – «ошибка регулирования». Терм множество лингвистической переменной «ошибка регулирования» принимает значения: Z – «нулевое»; SN – «малое положительное»; LP – «большое положительное»; SP – «малое отрицательное»; LN – «большое отрицательное» (см. рис. 3). Центральные термы построены с применением гауссовых функций принадлежности, термы, описывающие крайние состояния диапазона регулирования, используют Z - и S -образные функций принадлежности соответственно. Вторая входная лингвистическая переменная регулятора $Integral$ («интеграл ошибки») имеет аналогичное распределение нечетких термов, с учетом диапазона изменения величины входного сигнала.

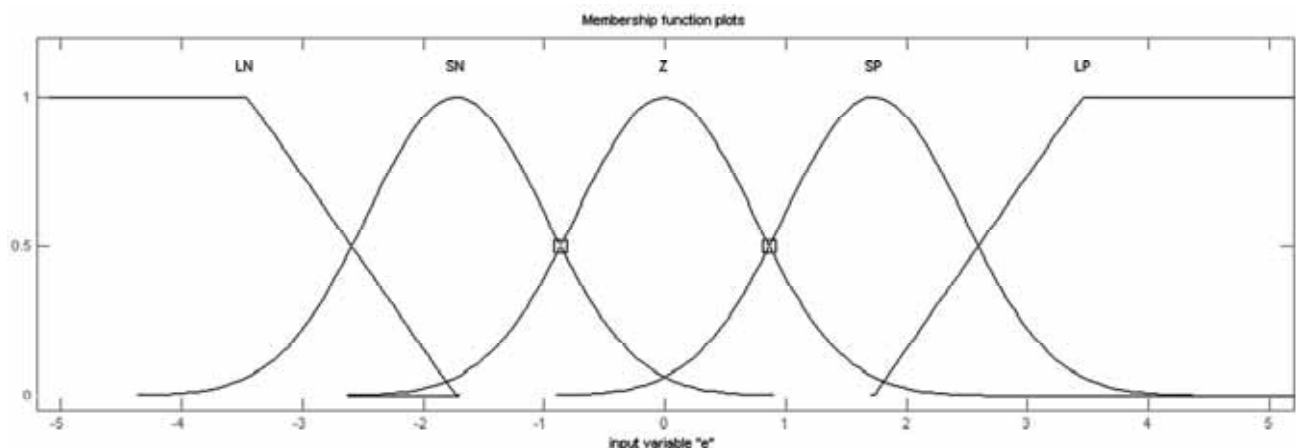


Рис. 3. Распределение функций принадлежности для входной переменной e

Лингвистические переменные «Channel1» и «Channel2» являются промежуточными и определяют одновременно блоки дефаззификации нечеткого для регулятора Мамдани первого каскада и блоки фаззификации для нечетких регуляторов Сугено второго каскада. Количество нечетких термов лингвистических переменных Channel1 и Channel2, а также их распределение одинаково и аналогично представленным на рис. 3. Такие промежуточные лингвистические переменные будут как определять очередность включения последующих нечетких регуляторов, так и масштабировать входные управляющие сигналы второго каскада.

Регуляторы, установленные во втором каскаде, представляют собой нечеткие структуры с алгоритмом нечеткого логического вывода Сугено нулевого порядка. Выходные переменные второго каскада u_1 и u_2 с учетом упрощенного алгоритма нечеткого вывода будут состоять из следующего набора констант: $[-30; -3; 0; 3; 30]$.

Описанное выше распределение функций принадлежности блоков фаззификации и дефаззификации первого и второго каскадов нечеткого логического регулятора обеспечивают заданную точность и высокое быстродействие системы. Увеличение количества нечетких термов и изменение вида функций принадлежности приведет к существенному росту алгоритмической сложности нечеткого многокаскадного регулятора.

База знаний регулятора первого каскада состоит из шести продукционных правил вида
Если e есть LP и Integral есть Z, то Canal₁ есть LP.

База знаний для каждого регулятора Сугено, расположенных во втором каскаде, будет состоять из пяти правил вида

Если Canal₁ Z, то u_1 есть Z.

Проследим динамические характеристики систем управления с классическим ПИ-регулятором и многокаскадным нечетким регулятором, реакцию на ступенчатое задающее воздействие (см. рис. 4). Кроме того, для сравнения была смоделирована система с однокаскадным нечетким регулятором в контуре скорости (с алгоритмом вывода Сугено), а также система с одним нечетким регулятором, замещающим классические регуляторы тока и скорости.

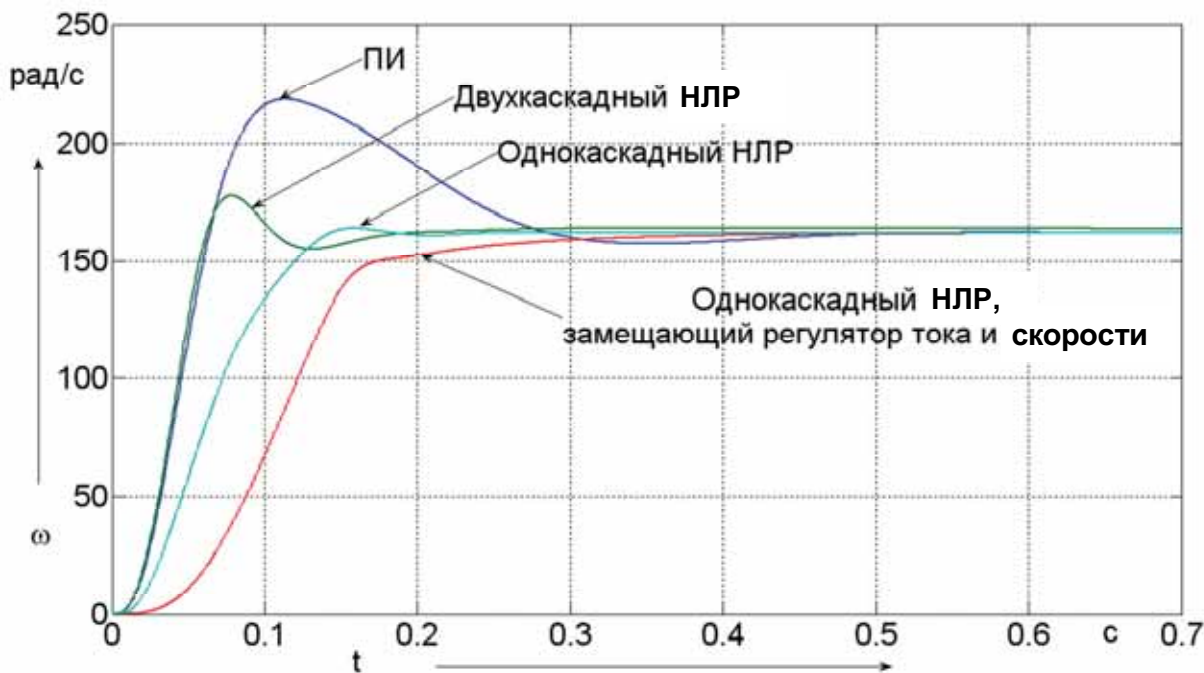


Рис. 4. Реакция системы на задающее воздействие

В системе с многокаскадным регулятором перерегулирование составляет 8 %, тогда как в классической системе величина перерегулирования 34,9 %. Однокаскадные регуляторы

перерегулирования практически не имеют. Другим, не менее важным, показателем качества работы системы автоматического регулирования является время переходного процесса, которое в классической системе составляет 0,25 с, в системе с нечетким многокаскадным регулятором – менее 0,1 с.

Итак, по показателю быстродействия смоделированная нечеткая двухкаскадная система превосходит прочие рассмотренные здесь системы, по показателю перерегулирования уступает однокаскадным системам, но превосходит систему с «четким» ПИ-регулятором.

Рассмотрим поведение смоделированных систем при изменении сопротивления якорной цепи в диапазоне $\pm 20\%$ (см. рис. 5 – 8).

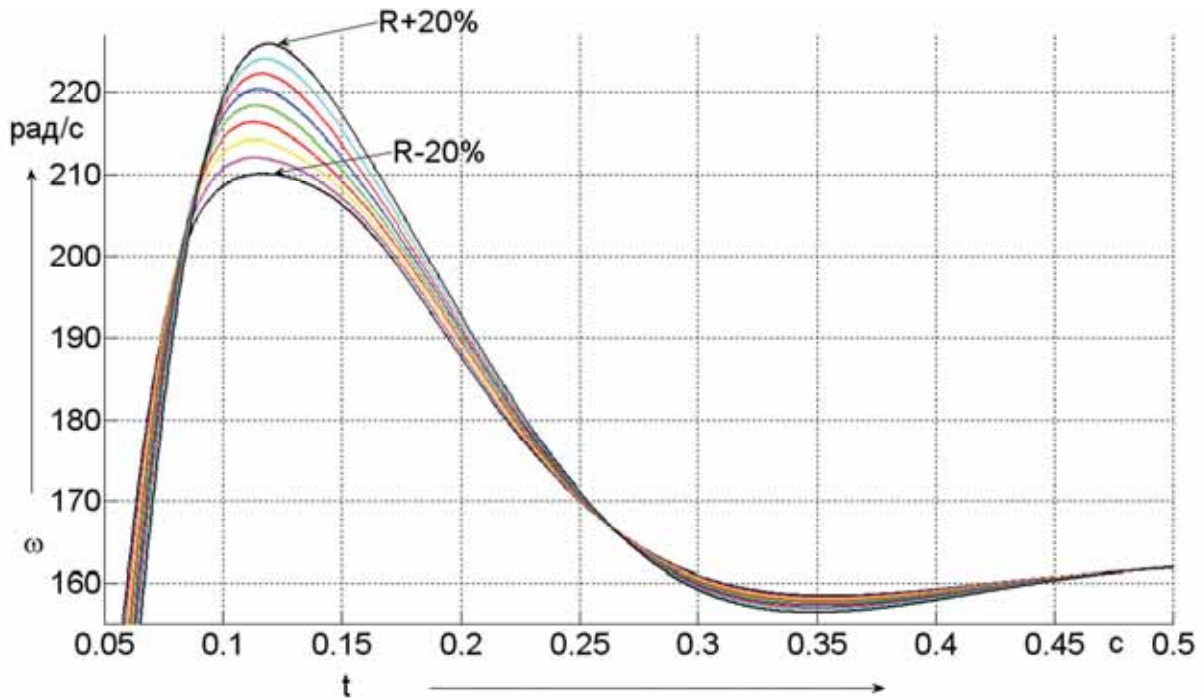


Рис. 5. График скорости (система с ПИ) при различных значениях сопротивления якорной цепи

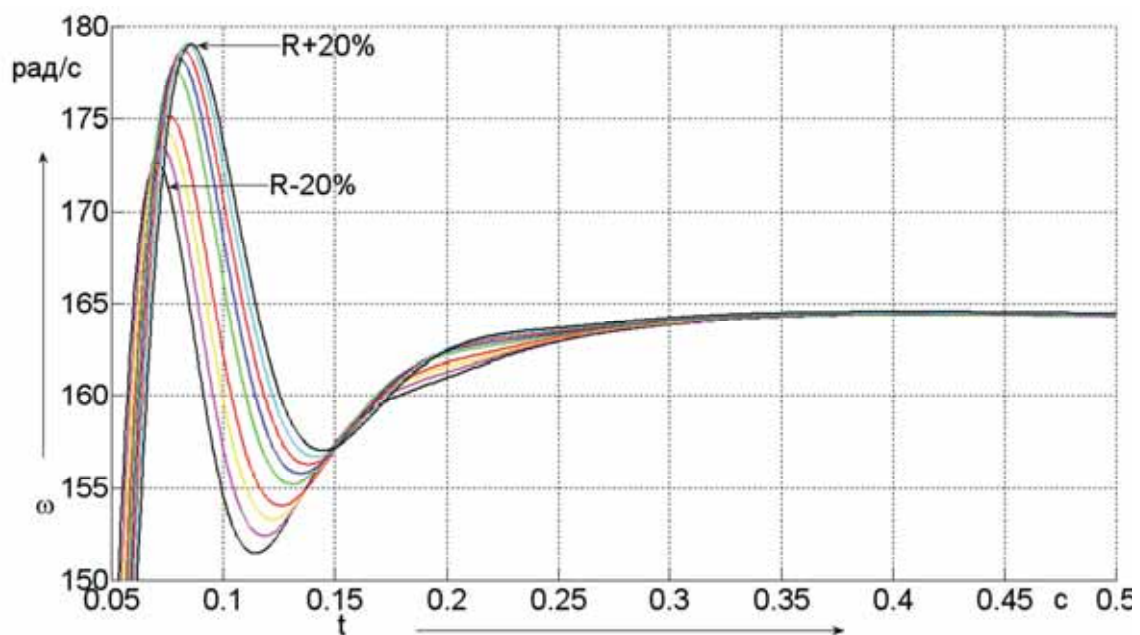


Рис. 6. График скорости (система с МНЛР) при различных значениях сопротивления якорной цепи

При изменении значения сопротивления якорной цепи в заданном диапазоне (см. рис. 5 – 8) в системе с МНЛР наблюдается меньший разброс значений скорости в точке максимума графика (3,4 %), чем в системе с ПИ-регулятором (7,3 %). Кроме того, необходимо отметить, что однокаскадный НЛР в контуре скорости показал достаточно хорошие адаптивные свойства.

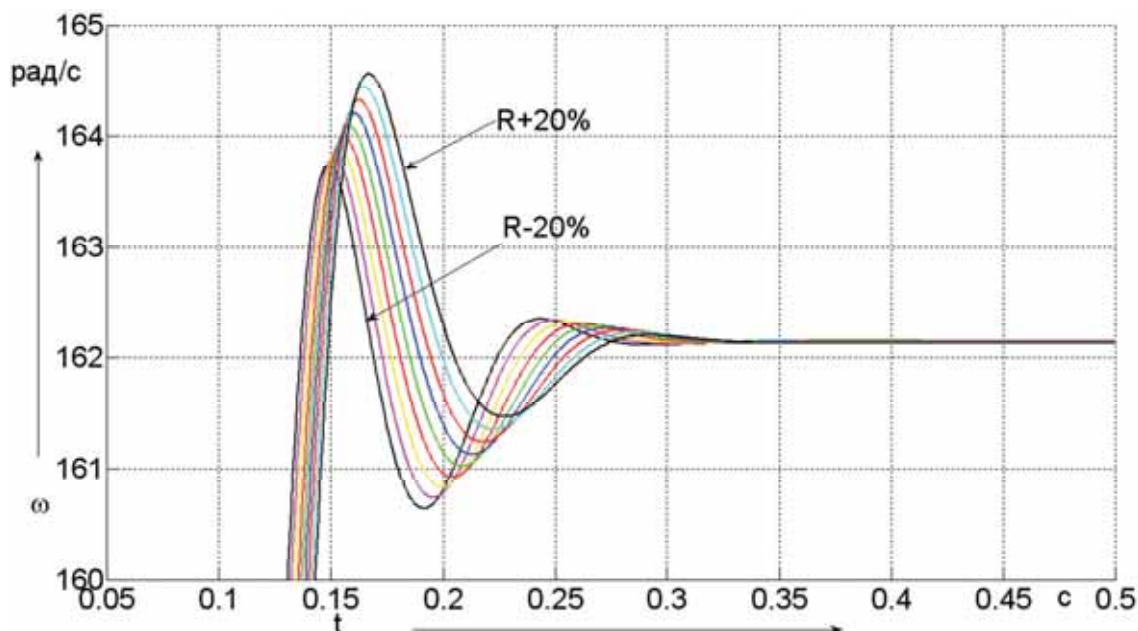


Рис. 7. График скорости (система с однокаскадным НЛР) при различных значениях сопротивления якорной цепи

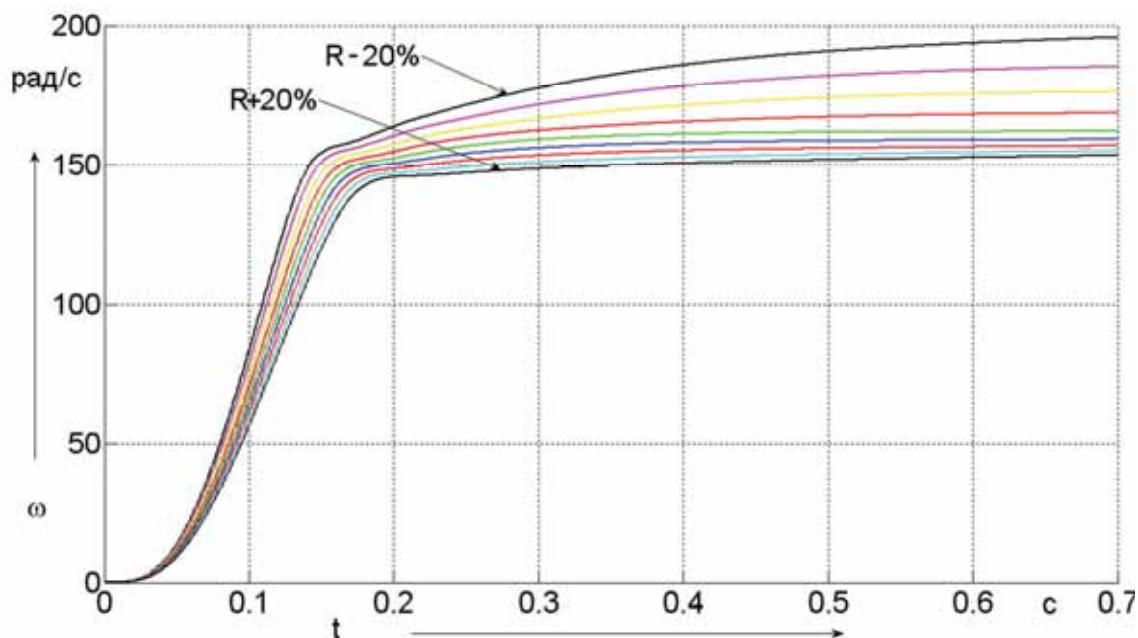


Рис. 8. График скорости (система с однокаскадным регулятором, замещающим регуляторы тока и скорости) при различных значениях сопротивления якорной цепи

Ниже представлена зависимость между максимальным отклонением скорости и величиной сопротивления для рассмотренных выше моделей систем управления (см. рис. 9).

По наклону интегральной характеристики можно сделать вывод о поведении системы при воздействии на нее различных возмущений, как внешних, так и внутренних. Нечеткие системы управления менее восприимчивы к изменению сопротивления и обладают некоторыми робастными свойствами в диапазоне изменения этого параметра в пределах $\pm 20\%$.

При этом необходимо отметить, что классическая система такими свойствами не обладает. Приведенные модели систем управления двигателем постоянного тока ведут себя аналогично при вариации ряда других параметров объекта управления: постоянной времени и коэффициента усиления преобразователя, электромагнитной и механической постоянных времени.

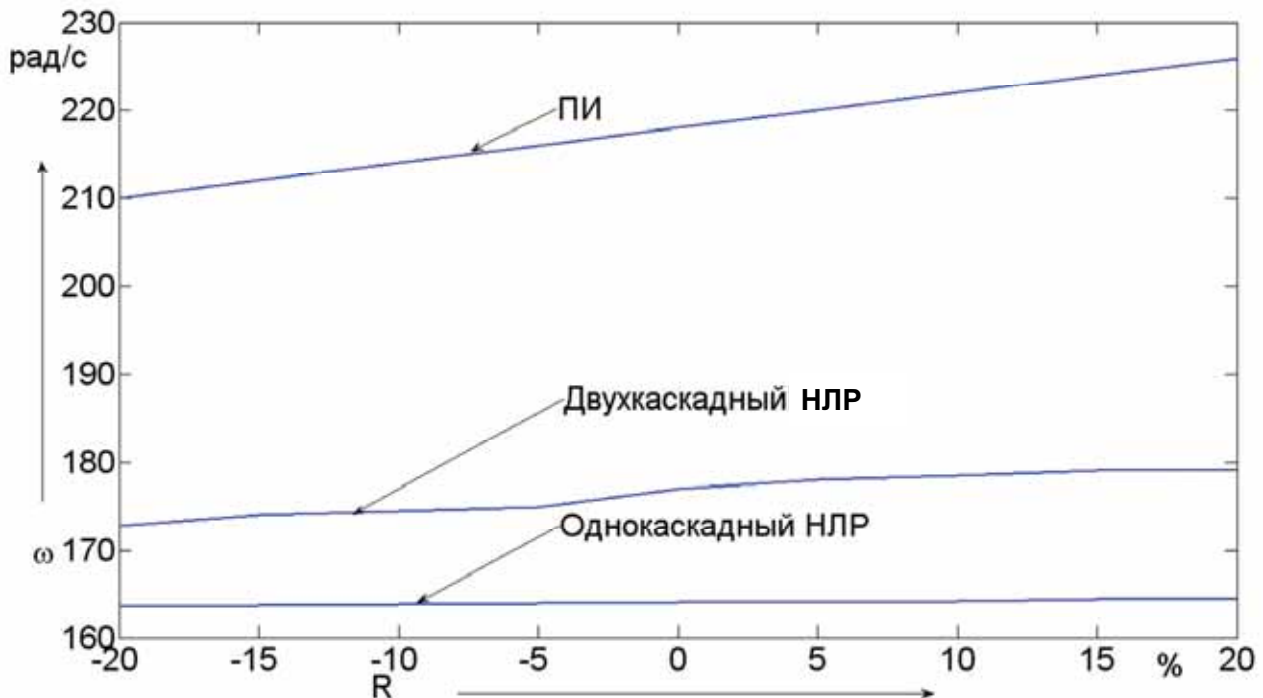


Рис. 9. Зависимость между максимальным отклонением скорости и величиной сопротивления

Таким образом, система управления с нечетким двухкаскадным регулятором в достаточно широких пределах остается невосприимчивой к действию внутренних возмущающих воздействий, т.е. на нее не оказывает существенного влияния нестационарность ряда параметров объекта регулирования (сопротивления якорной цепи, постоянной времени и коэффициента усиления тиристорного преобразователя), что достаточно часто проявляется в электромеханических системах. При исследовании реакции САУ на внутренние возмущения выходной параметр – угловая скорость электропривода – в установившемся режиме достигает своего номинального значения, что говорит о наличии у такой системы некоторых робастных свойств (в ограниченном диапазоне изменения параметров).

В дальнейшем, развивая концепцию многокаскадного нечеткого регулятора, существует возможность реализации систем управления, учитывающих достаточно большое количество различных информационных входных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деменков, Н. П. Нечеткое управление в технических системах: учеб. пособие / Н. П. Деменков. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
2. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
3. Соловьев, В. А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами: учеб. пособие для студентов вузов / В. А. Соловьев, С. П. Черный. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2006. – 74 с.
4. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов: учеб. для студентов вузов / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. – М.: Академия, 2005. – 304 с.
5. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.