

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМ ТОРМОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Л.М.А. Шраим, А.А. Внуков

Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье рассматриваются вопросы, связанные с реализацией цифрового управления электроприводом в режиме электродинамического торможения. Для этих целей разрабатывается структурная схема системы интеллектуального управления, алгоритмическое и программное, позволяющее провести моделирование в среде MatLab и Simulink, получить зависимости, сделать выводы и рекомендовать принцип нечеткого управления и возможность обеспечения эксплуатации частотно регулируемого привода асинхронного электродвигателя (АД) без перегрева обмоток, т.е. в режимах близких к номинальной эксплуатации.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, торможения электропривода, управления, асинхронный электродвигатель, режимы торможения, математическая модель АД.

Системы искусственного интеллекта можно разделить на интеллектуальные и интеллектуальные системы. Способность самостоятельно формировать цель функционирования объекта относят к интеллектуальным системам. Постановка цели экспертом характерна для интеллектуальных систем. Интеллектуальные автономные подсистемы могут эффективно использоваться при целенаправленном согласованном управлении в режиме масштаба реального времени интеллектуальными объектами с различным уровнем сложности и характером решаемых задач. Нечеткий контроллер воспроизводит в них логический механизм и действия эксперта оперативно с учетом специфики управления объектом.

Необходимо решить задачу моделирования системы интеллектуального управления АД для режима электродинамического торможения с выделением значительной тепловой энергии, не позволяющей эксплуатировать электропривод в нормальном режиме, с использованием включения в контур управления нечеткого контроллера, на вход которого подаются температура и скорость изменения температуры, а на выходе получается скорость вращения вентилятора, охлаждающего электродвигатель.

Областью применения являются промышленные роботы, станки с числовым программным управлением, мехатронные системы.

Математическая модель АД для исследования режимов торможения электропривода. Математическая модель асинхронного электродвигателя (АД)

в уравнениях (1)—(3) составлена для варианта двухмассовой модели, приведенной к эквивалентной одномассовой модели:

$$\begin{cases} V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \varphi_{qs} + \Omega \varphi_{ds} \\ V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \varphi_{ds} - \Omega \varphi_{qs} \\ V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \frac{d}{dt} \varphi'_{qr} + (\Omega - \Omega_r) \varphi'_{dr}, \\ V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \varphi'_{dr} - (\Omega - \Omega_r) \varphi'_{qr} \\ T_e = \frac{3}{2} p L_m (\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \varphi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \\ \varphi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr} \\ \varphi_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs} \\ \varphi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds} \\ L_s = L_{ls} + L_m \\ L'_r = L'_{lr} + L_m \end{cases} \quad (2)$$

Уравнения механической части системы записываются следующим образом:

$$\frac{d}{dt} \Omega_m = \frac{p}{J} (T_e - F \Omega_m - T_m - T_L), \quad (3)$$

где $\frac{d}{dt} \theta_m = \Omega_m$.

При динамическом торможении электропривода происходит изменение динамического момента на валу АД. Уравнения (1)—(3) не учитывают изменений в динамическом моменте на валу АД при подаче постоянного тока управления в обмотки статора АД. Это влияние вводится в математическую модель дополнением ее уравнениями (4)—(5) с отражением фактора влияния меняющихся параметров в указанных зависимостях:

$$T_L = \frac{3I^2 L_m^2 R'_2}{(1-s)\Omega_n \left[\left(\frac{R'_2}{1-s} \right)^2 + (L_m + R'_2)^2 \right]}, \quad (4)$$

$$I_{II} = \frac{1}{\sqrt{3R'_r L_m}} \sqrt{\frac{3V_n R'_r (1-s)\Omega_n \left(\frac{R'_r}{1-s} \right)^2 + (L_m + R'_r)^2}{s\Omega_n \left[\left(R_s + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (R_s + R'_r)^2 \right]} - T_e (1-s)\Omega_n \left[\left(\frac{R'_r}{1-s} \right)^2 + (L_m + R'_r)^2 \right]}, \quad (5)$$

где в (1)—(5) R_s, L_{ls} — активное сопротивление и индуктивность рассеяния статора; R_r', L_{lr}' — активное сопротивление и индуктивность рассеяния ротора; L_m — взаимная индуктивность между статором и ротором; L_s, L_r' — полная индуктивность статора и ротора; V_{qs}, i_{qs} — проекция напряжения и тока статора на ось q ; V_{qr}, i_{qr}' — проекция напряжения и тока ротора на ось q ; V_{ds}, i_{ds} — проекция напряжения и тока статора на ось d ; V_{dr}', i_{dr}' — проекция напряжения и тока ротора на ось d ; Φ_{qs}, Φ_{ds} — проекции магнитного потока статора на оси q и d ; Φ_{qr}', Φ_{dr}' — проекции магнитного потока ротора на оси q и d ; Ω_m — угловая скорость вращения ротора; θ_m — угол поворота ротора; P — число пар полюсов; Ω_r — электрическая угловая скорость ($\Omega_m \cdot p$); θ_r — электрический угол поворота ротора ($\theta_m \cdot p$); T_e — электромагнитный момент; T_m — момент нагрузки; J — приведенный момент инерции; H — приведенный коэффициент инерции; F — коэффициент трения; T_L — тормозной момент, обусловленный протеканием постоянной составляющей тока статора в режиме двухтокового динамического торможения; I_{Π} — постоянная составляющая тока статора в режиме двухтокового динамического торможения; s — скольжение.

Электромагнитный момент торможения от постоянного тока управления задается по уравнениям (4) и (5) и подается на вход блока управления асинхронного двигателя в момент начала торможения. Такой принцип торможения позволяет поддерживать постоянным ускорение торможения и возможность точной остановки позиционного привода мехатронной системы промышленного робота в заданной точке. При этом угловая скорость вращения Ω АД изменяется с изменением или сохранением момента M_H .

Режим двухтокового динамического торможения АД. Объектом повышенного внимания исследования является двухтоковый электродинамический принцип торможения частотно-регулируемого привода АД в сочетании с частотным управлением и подмагничиванием обмоток статора постоянным током от дополнительного управляемого источника. Двухтоковое торможение основано на совмещении торможений противовключением и динамического торможения. Оно достигается одновременным введением в двигатель переменного и постоянного токов.

При установившейся скорости движения исполнительного механизма привода $M_H = M_C$ (момент нагружения M_H равен статическому моменту M_C) скорость вращения вала АД составляет $\Omega_B = \Omega_H$. Режим торможения начинается с плавного понижения частоты f_M и напряжения U_M питания АД согласно закону изменения напряжения U_M и частоты f_M на выходе автономного инвертора напряжения (АИН): $U_M/f_M = \text{const}$, чтобы не было динамических ударов в системе электропривода и исполнительном механизме. Затем включается режим динамического торможения АД, пульсирующий постоянный ток подается в обмотки статора АД, находящегося в состоянии двухтокового торможения с плавным формированием тормозного момента $-M_{T1}$ и плавным снижением угловой скорости вращения Ω . В этих двух режимах плавные переходы изменения скорости определяются постоянной времени нарастания постоянного тока в обмотке управления. Далее изменение скорости реализуется при постоянном тормозном моменте $-M_{T1}$ и постоянном ускорении

торможения $-\varepsilon_T$. На следующем участке торможения АИН развивает момент вращения на валу АД за счет уменьшения тормозного момента при уменьшении тока подмагничивания I_{Π} . Ползучая низкая частота вращения n и угловая скорость вращения Ω продолжают снижаться под активным моментом на валу АД. АД из тормозного режима переходит в двигательный режим на ползучей скорости. На этом отрезке торможения при возрастании момента возможен плавный разгон АД и приводной системы без динамических ударов. На последнем режиме торможения АД алгоритм работы АИН снижает скорость до полной остановки электропривода мехатронной системы программным формированием вектора магнитного поля статора с отставанием на 1—2 электрических градуса от вектора магнитного потока поля ротора.

Особенностями двухтокового динамического торможения АД являются:

1) режимы торможения соответствуют рассчитанным отрезкам перемещений приводов;

2) одновременное использование частотного принципа торможения путем снижения (по пропорциональному закону $Um/fm = \text{const}$) частоты и напряжения питания АД и двухтокового динамического торможения с регулированием постоянного тока в обмотках статора;

3) для постоянства момента и ускорения на участке торможения регулирование величины постоянной составляющей тока статора зависит от текущих значений частоты f и напряжения U питания АД от АИН;

4) плавные переходы угловой скорости вращения ротора Ω и момента на валу АД достигаются постоянной времени нарастания постоянного тока в обмотке управления.

Регулирование напряжения и частоты АИН по заданному закону задает плавность торможения АД, но не решает задачу его эффективного торможения при увеличении тепловых потерь в статоре и роторе и меняющихся температурных условиях окружающей среды. Интенсивную эксплуатацию частотно-регулируемого привода при сильно меняющейся температуре окружающей среды без перегрева изоляции обмоток АД может обеспечить интеллектуальная система управления.

Математическая модель АД для исследования температурных режимов.

АД является сложной термодинамической системой с неоднородными тепловыми параметрами, внутренним тепловыделением и сложной внутренней циркуляцией тепловых потоков.

Для анализа тепловых процессов в АД используем допущения из работ [16; 17]:

— АД имеет бесконечную большую теплопроводность и одинаковую температуру по всему объему;

— величина теплового обмена АД с окружающей средой пропорциональна разности температур двигателя и окружающей среды;

— линейность тепловой модели, так как тепловые параметры АД и окружающей среды постоянны и не связаны с температурой двигателя;

— потери в обмотках и в стали сердечников статора и фазного ротора создают одинаковый греющий эффект;

— потери в активной части сердечников отводятся их цилиндрической поверхностью;

— потери в лобовых частях обмоток статора и фазного ротора отводятся цилиндрической поверхностью лобовых частей обмоток.

Допущения позволяют записать первую тепловую модель в виде линейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$Cm \frac{d\Theta}{dt} = P_{\Gamma} - (\alpha_{\Pi} + k_1) S_{\Pi} \Theta, \quad (6)$$

$$P_{\Gamma} = (i_{qs}^2 + i_{ds}^2) R_s(\Theta) + (i_{qr}^2 + i_{dr}^2) R_r'(\Theta), \quad (7)$$

$$R_s(\Theta) = R_{s0} (1 + \alpha_s \Theta) \quad (8)$$

$$R_r'(\Theta) = R_{r0}' (1 + \alpha_r \Theta). \quad (9)$$

где Θ — разность температуры АД с окружающей средой; C — удельная теплоемкость; m — масса АД; P_{Γ} — электрические потери; α_{Π} — коэффициент теплоотдачи; S_{Π} — площадь АД; α_s — температурный коэффициент сопротивления статора; α_r — температурный коэффициент сопротивления ротора; R_{s0} — сопротивление статора при температуре 20 °С; R_{r0}' — сопротивление ротора при температуре 20 °С; k_1 — коэффициент самовентиляции.

Уравнения (6)—(9) называются уравнениями теплового баланса.

Для исследования переходных процессов температуры в АД используем систему уравнений (6)—(9), описывающих модель электрических потерь, приводящих к тепловыделению.

Соответственно анализу в [2] запишем уравнение (6) в виде

$$Cm \frac{d\Theta}{dt} = P_{\Gamma} - A\Theta, \quad (10)$$

$$A = (\alpha_{\Pi} + k_1) S_{\Pi}. \quad (11)$$

В установившемся тепловом режиме производная $\frac{d\Theta}{dt} = 0$ и $A\Theta_y = P_{\Gamma}$.

Установившийся тепловой режим характеризуется тем, что температура АД не меняется и вся тепловая энергия, выделяемая в АД, передается в окружающую среду. Установившееся превышение температуры Θ_y можно определить как отношение электрических потерь к теплоотдаче АД $\Theta_y = \frac{P_{\Gamma}}{A}$.

Теплоотдача АД определяет максимальную (номинальную) мощность двигателя в установившемся режиме и необходимо выразить потери через мощность на валу и принять, что установившееся превышение температуры соответствует предельному значению для данного класса изоляции. Тогда

$$P_{\text{НОМ}} = \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} P_{\Gamma} = \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} A\Theta_y, \quad (12)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ — номинальная мощность АД, а $\eta_{\text{НОМ}}$ — номинальный КПД АД.

Теплоотдача в окружающую среду зависит от размера поверхности охлаждения и интенсивности охлаждения и способствует увеличению мощности АД. Разделим все члены уравнения (10) на A тогда

$$\frac{C_m}{A} \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = \Theta_y. \quad (13)$$

Отношение теплопроводности C_m к теплоотдаче A имеет размерность времени и представляет собой постоянную времени нагрева $T_\Theta = \frac{C_m}{A}$.

Тепловое состояние АД описывается линейным неоднородным уравнением первого порядка

$$T_\Theta \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = \Theta_y. \quad (14)$$

В (14) учтем начальные условия: при $t = 0$, $\Theta(0) = \Theta_0$. Решение уравнения (14) при постоянстве потерь двигателя $P_\Gamma = \text{const}$ и постоянном установившемся превышении температуры:

$$\Theta(t) = \Theta_y + (\Theta_0 - \Theta_y)e^{\frac{-t}{T_\Theta}}. \quad (15)$$

Уравнение (15) определяет изменение температуры АД при постоянной и ступенчатой нагрузке. Если принять начальные условия нулевыми, то (14) запишем в операторной форме:

$$(T_\Theta s + 1)\Theta(s) = \Theta_y(s) = \frac{P_\Gamma(s)}{A}, \quad (16)$$

где s — оператор преобразования Лапласа.

Из уравнения получается передаточная функция АД по нагреву: выходная величина — превышение температуры АД, входная — электрические потери или пропорциональное им установившееся превышение температуры.

$$W_\Theta(s) = \frac{\Theta(s)}{P_\Gamma(s)} = \frac{1/A}{1 + T_\Theta s}, \quad (17)$$

Первая тепловая модель является инерционным звеном первого порядка с постоянной времени T_Θ , определяющей темп нагрева и охлаждения АД. При включении АД на постоянную нагрузку установившееся тепловое состояние достигается через время $(3 \dots 4)T_\Theta$.

Пусть АД нагревается без отдачи энергии в окружающую среду и вся энергия, выделяемая в нем, идет на повышение температуры, тогда через время $t = T_\Theta$ температура АД достигнет значения Θ_y .

Если $A = 0$, то из (10) $P_{\Gamma} dt = Cd\Theta$; интегрируя это выражение при нулевых начальных условиях в пределах до $t = t_y$ и $\Theta = \Theta_y$, получим $P_{\Gamma} t_y = C\Theta_y$, откуда

$$t_y = \frac{C}{P_{\Gamma}} \Theta_y = \frac{C}{P_{\Gamma}} \frac{P_{\Gamma}}{A} = T_{\Theta}. \quad (18)$$

На нагрев и охлаждение АД влияют вентиляция и теплообмен с внешней средой. Неподвижный ротор ухудшает условия вентиляции, и теплоотдача АД уменьшается. Отношение теплоотдачи неподвижного АД к номинальной теплоотдаче определяет коэффициент β_0 ухудшения охлаждения, имеющий различные значения: для закрытых АД с независимой вентиляцией (1,0), закрытых без принудительного охлаждения (0,95—0,98), закрытых самовентилируемых (0,45—0,55), защищенных самовентилируемых (0,25—0,35). Коэффициент β_0 для короткозамкнутых асинхронных электрических двигателей (серии 4А) основного исполнения зависит от высоты оси вращения в мм и изменяется в диапазоне 0,65—0,30. При изменении условий охлаждения постоянные времени нагрева и охлаждения АД имеют различное значение. Постоянная времени обратно пропорциональна теплоотдаче АД, тогда постоянная времени охлаждения неподвижного двигателя равна:

$$T'_{\Theta} = \frac{T_{\Theta}}{\beta_0}.$$

Поскольку $\beta_0 < 1$, охлаждение АД происходит медленнее, чем нагрев.

Для определения параметров первой тепловой модели можно использовать для АД приводов промышленных роботов постоянную времени нагрева T_{Θ} и класс изоляции. Допустим, что при номинальной мощности двигатель полностью используется по нагреву, тогда:

$$\Theta_y = \Theta_{\text{доп}} = \frac{P_{\Gamma}}{A} = \frac{1}{A} P_{\text{ном}} \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (19)$$

откуда теплоотдача АД

$$A = \frac{P_{\text{ном}}}{\Theta_{\text{доп}}} \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (20)$$

где $\Theta_{\text{доп}}$ — допустимое превышение температуры для данного класса изоляции.

Определение диапазонов изменения скорости вентиляции мехатронной системы. В режиме двухтокового динамического торможения частотно-регулируемого привода мехатронной системы электрические потери растут и стремятся в бесконечность из-за увеличения тока, обеспечивающего тормозной момент. Увеличение потерь АД в допустимых для мехатронной системы пределах ведет к нарастанию температуры приводного двигателя. При средних значениях электрических потерь в режиме кратко повторной работы АД на вход инерционного

звена $W_{\Theta}(s)$ можно превысить допустимые пределы температуры двигателя, что приводит к уменьшению производительности приводной мехатронной системы.

Чтобы не превысить температуру АД и улучшить его рабочие показатели надо усилить теплоотдачу A во внешнюю среду с интенсивной принудительной вентиляцией. Если параметр теплоотдачи A меняется при изменении коэффициента вентиляции k_1 (α_{Π} , S_{Π} постоянные параметры двигателя), то для исследования температурных режимов АД с самовентиляцией необходима оценка этого коэффициента. Поэтому рассматривается уравнение необходимого воздуха V_B [3] двигателя с аксиальной системой вентиляции, со степенью защиты IP22 или IP23 и способом охлаждения ICO1.

$$V_B = 0,42v_2S_2, \quad (21)$$

$$v_2 = \pi D_2 n_B, \quad (22)$$

$$S_2 = 0,92\pi D_2 l_{\Pi}. \quad (23)$$

где n_B — частота вращения вентилятора; v_2 — линейная скорость вентилятора; S_2 — площадь поперечного сечения входных отверстий вентилятора; D_2 — наружный диаметр вентилятора; l_{Π} — длина лопатки.

Найдем зависимости расхода воздуха от скорости вентиляции, подставив (22)—(23) в (21):

$$V_B = 0,3864n_B l_{\Pi} \pi^2 D_2^2, \quad (24)$$

Коэффициент k_1 (11) зависит от параметров вентилятора и внешней среды, т.е. можно записать:

$$k_1 = GC_B, \quad (25)$$

$$G = \rho_B V_B, \quad (26)$$

где C_B — теплоемкость вентилятора; ρ_B — плотность воздуха а G — массовый расход.

С учетом уравнения (24)—(26) можно записать уравнение параметра теплоотдачи A :

$$A = S_{\Pi} \left(\alpha_{\Pi} + 0,3864\rho_B C_B l_{\Pi} n_B \pi^2 D_2^2 \right). \quad (27)$$

Уравнение (27) нужно для оценки параметра A при изменении скорости вентиляции для снижения критических значений температуры из-за нарастания электрических потерь.

При дискретных скоростях вентиляции 0, 50, 500, 1000, 1500 об/мин. из уравнения (27) получаем переходный процесс для температуры $W_{\Theta}(s)$ и закон изменения ее на разных скоростях вентиляции.

На основании переходного процесса и закона изменения температуры для поддержания допустимой температуры приводной мехатронной системы и улуч-

шения рабочих характеристик АД в кратком повторном режиме нужно охлаждать двигатель с большими скоростями вентиляции (от 1000—1500 об/мин.). Можно применять алгоритм двухтокового динамического торможения в режиме превышения электрических потерь.

Применение метода интеллектуализации системы управления АД. Приведем обоснование выбора метода интеллектуального управления АД. Тепловые расчеты АД обладают невысокой точностью, связанной с трудностью измерения температуры машины. Температуру АД необходимо регулировать применением дополнительной вентиляции, и поддерживать ее в допустимом диапазоне значений, чтобы приводная система обладала большей производительностью при разных алгоритмах пуска или торможения, в том числе и динамического двухтокового торможения АД.

Сейчас появились методы, позволяющие по-новому решить задачу торможения АД в условиях перегрева. Проблема решается математическим моделированием в среде MatLab с элементами искусственного интеллекта на основе применения методов нечеткой логики, что позволяет отнести разрабатываемую систему управления к классу интеллектуальных систем [1].

На рис. 1 показан интеллектуальный регулятор температуры АД, который является классическим регулятором системы управления. Интеллектуальный регулятор температуры АД осуществляет нечеткое управление скоростью вращения вентилятора АД с целью поддержания его температуры в пределах, обеспечивающих его нормальную эксплуатацию без перегрева.

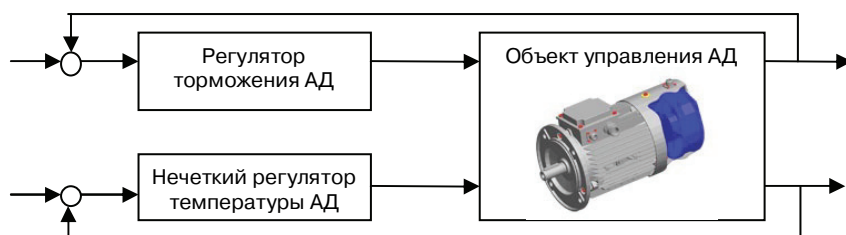


Рис. 1. Структура интеллектуального регулятора температуры АД

Структура интеллектуального регулятора температуры АД, изображенного на рис. 1, показана на рис. 2. На нем представлены блоки системы интеллектуального управления АД: цель — блок формирования цели; окружающая среда — блок, характеризующий влияние окружающей среды на интеллектуальную систему; интеллектуальный преобразователь — блок, реализующий в каждый момент времени текущую цель управления объектом; исполнение управления — блок, трансформирующий команды в сигналы управления вентилятором; объект — математическая модель объекта управления. На рис. 2 показаны сигналы и вектора: φ — сигнал цели, содержит информацию о текущем состоянии цели; ω — вектор возмущения; u — сигнал управления; \hat{z} — сигнал модели объекта, содержит информацию о текущем изменении структуры и параметров объекта; Y — вектор состояния интеллектуального преобразователя; y — выход объекта.

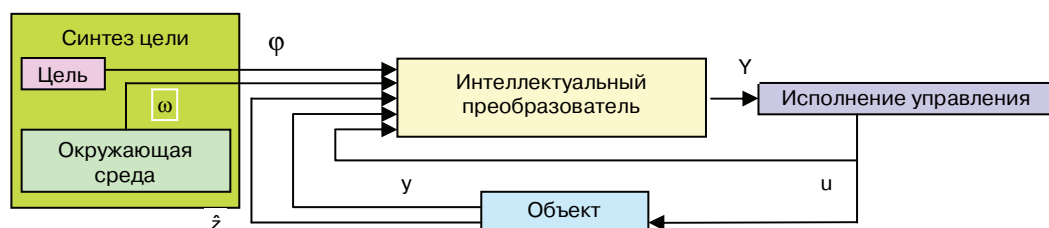


Рис. 2. Структура интеллектуальной системы управления скоростью вращения вентилятора АД

Построение нечеткого контроллера сводится к воспроизведению в интеллектуальной системе логического механизма и действий квалифицированного эксперта оперативно с учетом его знаний и специфики управления объектом. НК встраивается в систему управления с обратной связью с подстройкой выхода объекта управления y путем сравнения его со значением переменной \dot{y} .

Анализ выполненных исследований позволяет сделать следующие выводы.

В работе продемонстрирована возможность построения систем с нечеткой динамической коррекцией скорости вращения вентилятора АД вместо традиционных регуляторов. Использование методов нечеткого управления позволило получить качественный переходный процесс без использования громоздких вычислений в классических методах управления.

Представленная технология является удачной разработкой, облегчающей проектирование микропроцессорных систем управления, основанных на нечеткой технологии.

Реализации вычислений в системах с нечеткой логикой управления хорошо поддаются распараллеливанию.

Конструктивные решения АД не допускает перегрев изоляции и ограничивают возможности формирования момента торможения из-за условий перегрева обмоток и магнитопровода статора и ротора.

Закон изменения скорости вентиляции двигателя позволяет оценить диапазон возможных эксплуатационных температур обмоток АД без выхода из строя исполнительного двигателя.

Исследования в среде системы MatLab и Simulink показали, что принцип нечеткого управления обеспечивает эксплуатации частотно регулируемого привода с АД без перегрева обмоток в режимах близких к номинальному режиму.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
- [2] Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. Учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 1990.
- [3] Гольдберг О.Д., Буль О.Б., Свириденко И.С., Хелемская С.П. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования. — М.: Высшая школа, 2001.
- [4] Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. Автоматизирование проектирование электрических машин малой мощности. — М.: Высшая школа, 2002.

INTELLIGENT DIGITAL CONTROL OF DYNAMIC BRAKING OF INDUSTRIAL ROBOTS

L.M.A. Shraim, A.A. Vnukov

Department of Engineering Cybernetics
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

The article discusses issues related to the implementation of the digital motor control. Developed for this purpose a block diagram of the intelligent control algorithms and software that allows you to perform simulation in MatLab and Simulink, get depends, to draw conclusions and to recommend to the principle of fuzzy control and the ability to support the operation of variable frequency drive with AD without overheating the windings, ie in close to the nominal operation.

Key words: intellektnye system, brake actuator, control, induction motor, brake mode, synchronous motor mathematical model.