

УДК 004.896

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ НЕЧЕТКИМ-РЕГУЛЯТОРОМ

Д.В. Ольховатов, аспирант,  
Научный руководитель: М.Ю. Пустоветов, к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Ростовский Государственный Университет Путей Сообщения»,  
г. Ростов-на-Дону

В настоящее время широкое распространение в литературе и практической деятельности получили системы автоматического управления (САУ) на базе нечеткой логики. В данном докладе рассматриваются вопросы, связанные с построением математической модели САУ скорости электропривода постоянного тока с дополнительным нечетким-регулятором. Большим преимуществом теории нечетких множеств является возможность переложения опыта, накопленного человеком, являющимся экспертом в определенной области, в виде свода формальных правил работы математической модели.

Исходные данные для расчета параметров двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТНВ):  $P_n=18$  кВт,  $U_{ян}=440$  В,  $I_{ян}=41,4$  А,  $\omega_n=104,5$  1/с,  $C=4,16$  В.с.,  $R_{яц}=0,45$  Ом,  $L_{яц}=0,01$  Гн,  $J_{\Sigma}=0,9$  кг·м<sup>2</sup>.

Таким образом, логику работы классического ПИД регулятора можно описать следующими лингвистическими выражениями (правилами):

Если рассогласование и производная скорости отрицательны, то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение -440В (очень большой отрицательный сигнал);

Если рассогласование отрицательное, а производная скорости приблизительно равна нулю, то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение -300В (большой отрицательный сигнал);

Если рассогласование отрицательное, а производная скорости положительная, то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение -100В (средний отрицательный сигнал);

Если рассогласование приблизительно равно нулю, а производная скорости отрицательная, то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение -10В (малый отрицательный сигнал);

Если рассогласование и производная скорости приблизительно равны нулю, то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение 0В (нулевой сигнал);

Если рассогласование приблизительно равно нулю, а производная скорости положительная, то на то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение 10В (малый сигнал);

Если рассогласование положительное, а производная скорости отрицательная, то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение 100В (средний сигнал);

Если рассогласование положительная, а производная скорости приблизительно равна нулю, то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение 300В (большой сигнал);

Если рассогласование и производная скорости положительны, то на клеммы якоря ДПТНВ подается напряжение 440В (очень большой сигнал).

Для реализации данных правил предлагается использовать систему нечеткого логического вывода Сугено. Правила в базе знаний Сугено являются своего рода переключателями с одного линейного закона “входы-выходы” на другой, тоже линейный. Границы подобластей размытые, следовательно, одновременно могут выполняться несколько линейных законов, но с различными степенями [2]. Исходя из вышеперечисленных закономерностей, становится понятным, что нечеткий-регулятор должен обладать двумя входными переменными (рассогласования и производная скорости) которые могут быть заданы тремя термами типа Гаусса (положительный, отрицательный и нулевой) и девятью термами типа «константа выходной переменной» (очень большой отрицательный сигнал, большой отрицательный сигнал, средний отрицательный сигнал, малый отрицательный сигнал, нулевой сигнал, малый сигнал, средний сигнал, большой сигнал, очень большой сигнал).

Структурная схема математической модели САУ скорости электропривода постоянного тока с дополнительным нечетким-регулятором представлена на рисунке 1. Система регулирования содержит П-задатчик напряжения, осуществляющий формирование основной части управляющего сигнала, и нечеткий-регулятор (ПИД типа), посредством которого осуществляется настройка переходного процесса ДПТНВ.

Выбор значений масштабирующих коэффициентов  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$  производится при помощи генетического алгоритма. В качестве передаточной функции желаемого переходного процесс примем апериодическое звено первого порядка. Блоки *simout* и *simout1* служат для накопления двухмерных массивов “Время-скорость вращения вала двигателя”. Поскольку массивы *simout* и *simout1* имеют одинаковую размерность, функцию ошибки можно описать в виде [3]  $E = \sum |simout - simout1|$ . В этом случае целевая функция будет иметь вид представленный на рисунке 2:

Для получения массивов выходных данных необходимо, установить фиксированное значение шага моделирования. Сделать это можно в меню *Configuration Parameters*, выбрав *Fixed-step* в разделе *Type*, за тем *ode5 (Dormand-Prince)* в разделе *Solver*, и установив значение 0,001 в разделе параметра *Fixed-step size*. Фиксированный шаг в 0,001 секунды и время моделирования 1,2 секунды соответствуют двухмерным массивам выходных данных размерностью [1201x1].

Для реализации генетического алгоритма используется пакет программ *Optimization Tool* среды *Matlab*. Нами были выбраны следующие параметры генетического алгоритма: *Initial range* [0;1]; *Creation function* (*Constraint dependent*); *Scaling function* (*Rank*); *Selection function* (*Roulette*); *Crossover function* (*two point*); *Mutation function* (*Gaussian*); *Migration* (*forward*).

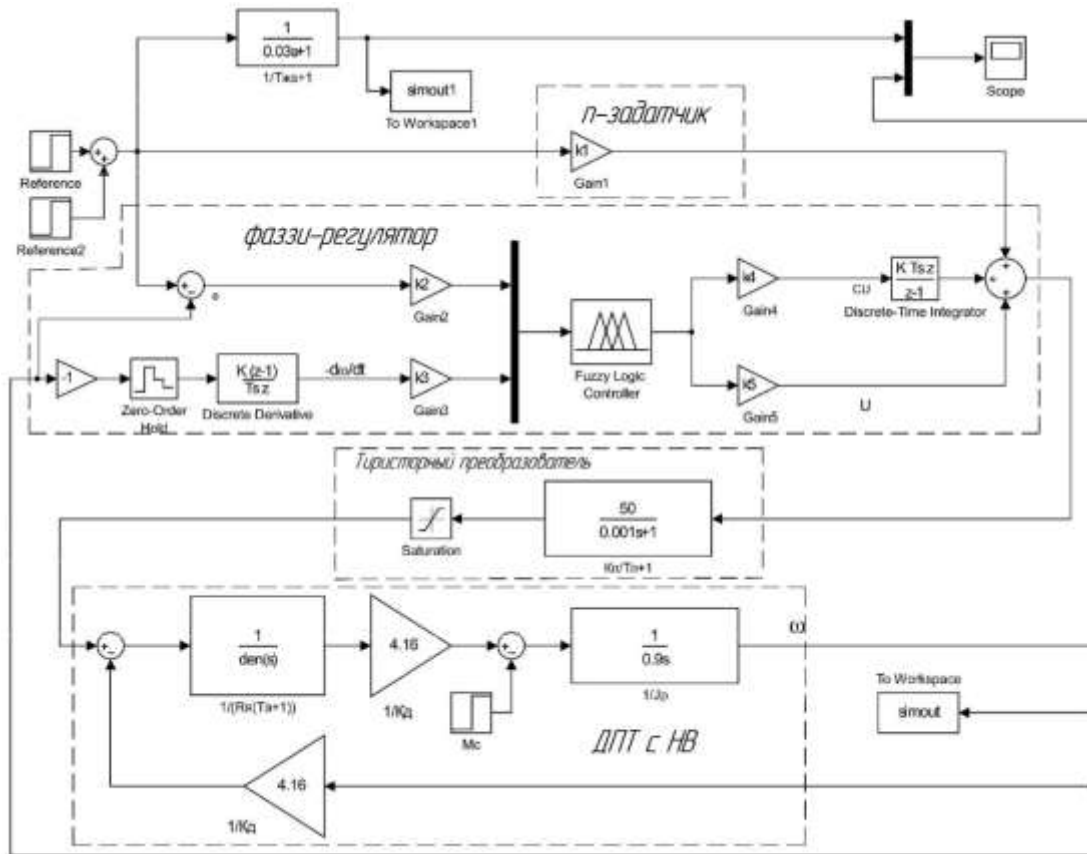


Рис 1. - Структурная схема математической модели системы автоматического регулирования скорости электропривода постоянного тока с дополнительным нечетким-регулятором

```

Fuzzy_gen.m  x  +
1  function z=Fuzzy_gen(X)
2  -   global k1;
3  -   global k2;
4  -   global k3;
5  -   global k4;
6  -   global k5;
7  -   k1=X(1);
8  -   k2=X(2);
9  -   k3=X(3);
10 -   k4=X(4);
11 -   k5=X(5);
12 -   sim('genal');
13 -   z=sum(abs(simout-simout1));
14 -   end
    
```

Рис 2. - Листинг целевой функции в среде *Matlab*

Большое влияние на качество оптимизации методом генетического алгоритма оказывает выбор значения параметра *Initial range*. *Initial range* – задание диапазона, в котором будет генерироваться случайные значения при создании начальной популяции [3]. Рекомендуется при первой оптимизации выбирать более широкие значения данного параметра. Затем при последующих оптимизациях сужать значения данного параметра вокруг результатов, полученных в предыдущих оптимизациях.

Как показали вычислительные эксперименты, во избежание появления большего значения статической ошибки рекомендуется изменять значение задающего сигнала, во время моделирования, более одного раза.

Графики переходных процессов настроенной математической модели и желаемой передаточной функции показаны на рисунке 3.

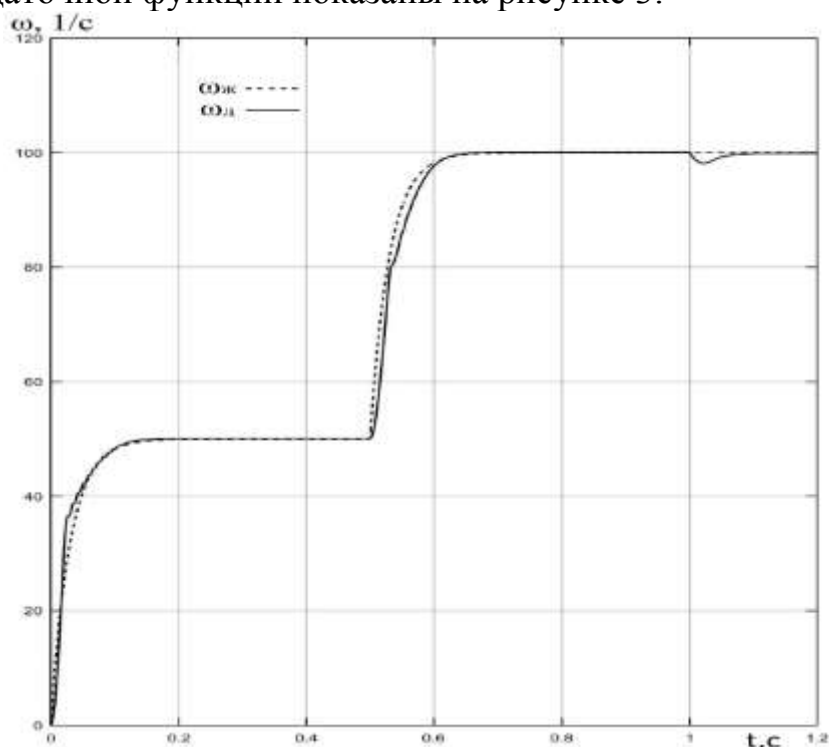


Рис 3. - График переходных процессов по скорости желаемой передаточной функции и математической модели электропривода

В начальный момент времени на вход системы подается сигнал типа «скачок» задания равный 50 1/с. Далее в момент времени 0,5 с к начальному заданию суммируется еще один «скачок» величиной 50 1/с. Затем в момент времени 1 с подается возмущающее воздействие статического момента. Как видно из графика, синтезированный электропривод обладает хорошими динамическими характеристиками: перерегулирование отсутствует, статическая ошибка очень мала, влияние возмущающего воздействия отрабатывается полностью.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что метод регулирования с дополнительным нечетким-регулятором при настройке масштабирующих коэффициентов с помощью генетического алгоритма дает

достаточно хороший результат, что открывает простор для его использования в вспомогательных электроприводах электроподвижного состава.

#### Библиографический список

1. Официальная сайт компании MathWorks <http://www.mathworks.com>
2. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
3. Бураков М.В. Генетический алгоритм: теория и практика: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2008. – 164 с.
4. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.: РАСХН. 2003. – 320.