

FRI-ONLINE-1-EEEE-02

APPLICATION OF THE GENETIC ALGORITHM FOR SPEED CONTROL OF DC MOTOR ²

Assoc. Prof. Donka Ivanova, PhD

Department of Automatics and Mechatronics,
University of Ruse “Angel Kanchev”
tel.: +35982 888 266
E-mail: divanova@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Anka Krasteva, PhD

Department of Electrical Power Engineering,
University of Ruse “Angel Kanchev”
tel.: +35982 888 204
E-mail: akrasteva@uni-ruse.bg

Abstract: *The paper deals with the design of PID controllers for speed control of DC motor using genetic algorithm (GAPID). The genetic algorithm is an optimization procedure, where the fitness function to be minimized includes the results of simulation of the control system and a selected performance index evaluation. The characteristics of the systems with conventional tuning PID and GAPID controllers are analyzed. As a result optimal parameters such as overshoot percentage and setting time for speed control of DC motor were obtained by genetic algorithm.*

Keywords: *PID controller, Genetic algorithm, Optimal control*

ВЪВЕДЕНИЕ

Постояннотоковите двигатели са широко използвани в практиката устройства, които трансформират електрическата енергия в механична. Управлението им най-често се реализира с ПИ регулатори, като системите са двуконтурни – с вътрешен контур за регулиране на котвения ток и външен – за регулиране на скоростта на постояннотоковия двигател. Понякога, ПИ регулаторите с параметри определени с класическите методи не осигуряват желаното качество на преходните процеси в системата и се налага донастройката им (Nagaraja, R., Dr. Shantharama Rai. С, 2018; Nikhil Tripathi, Rameswar Singh, Renu Yadav, 2015). В много разработки се прилага генетичният алгоритъм за определяне на оптималните параметри на управляващите устройства (Neenu Thomas, Dr. P. Poongodi, 2009).

Генетичният алгоритъм (ГА) е стохастичен метод за решаване на оптимизационни задачи с и без ограничения, основан на естествената селекция, процесът определящ биологичната еволюция. ГА променя на всяка стъпка популацията от индивиди, като избира тези от текущото поколение, които ще продължат развитието си, т.е. ще се използват за следващата генерация. Селекцията на най-добрите индивиди става въз основа на функционал или функционали (целеве функции), даващи оценка за близостта на индивида с желаното решение. Правилата, по които става изборът на индивиди от текущата популация, са:

- Правила за селекция – избират се най-добрите индивиди, които да участват в създаването на следващото поколение или да бъдат прехвърлени без промяна в следващото поколение;
- Правила за кръстосване – избраните чрез селекция индивиди се кръстосват, като се цели да се получат индивиди, които да наследят най-добрите характеристики на родителите си;
- Правила за мутация – чрез случайна промяна на някои от гените се гарантира, дори и нито един от индивидите в текущото поколение да не съдържа необходимия ген, пак да се достигне екстремум.

² Докладът е представен на заседание на секция 3.1 на 29 октомври 2021 с оригинално заглавие на български език: ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГЕНЕТИЧНИЯ АЛГОРИТЪМ ЗА УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТТА НА ПОСТОЯННОТОКОВ ДВИГАТЕЛ

Целта на настоящата статия е чрез генетичния алгоритъм да се определят параметрите на ПИ регулаторите в САУ на скоростта на постояннотоков двигател и се сравнят качествените показатели на системата с тези в система с ПИ регулатори, настроени с класически методи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на изследване е постояннотоков електродвигател. Съгласно теорията на постояннотоковите електрически машини двигателят се описва с уравненията (Lehov, G., V. Stojanov, 1994).

$$J \frac{d\omega}{dt} + B\omega = K_M i_a - M_C,$$

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a = u_a - K_e \omega,$$

където J е инерционният момент на ротора, [$kg \cdot m^2/s^2$];

B – коефициент на затихване на механичната система, [$N \cdot m \cdot s$];

K_e – константа в обратната връзка по е.д.н., [$\frac{V}{rad/s}$];

K_M – константа на въртящия момент на двигателя, [$N \cdot m/A$];

R_a – активното съпротивление на котвената верига, [Ω];

L_a – индуктивността на котвената верига, [H];

i_a – котвеният ток, [A];

u_a – напрежението, захранващо котвената верига, [V];

M_C – съпротивителният момент, [$N \cdot m$];

ω – ъгловата скорост, [rad/s].

Управляващото въздействие на изхода на регулатора на ток $u_{рт}$ се усилва и се формира напрежението захранващо котвената верига

$$u_a = K_u u_{рт}.$$

Двигателният момент M_d се определя като

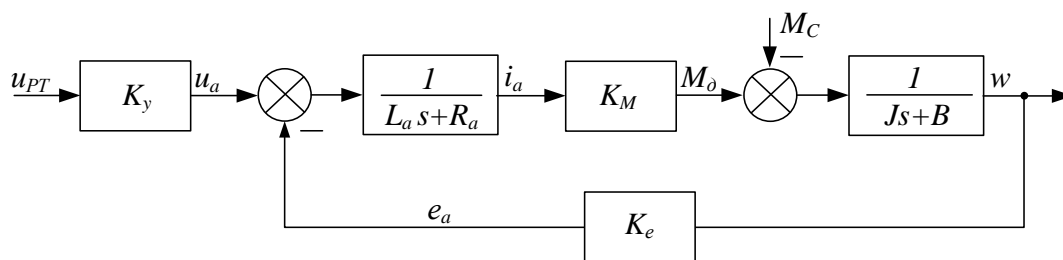
$$M_d = K_M i_a,$$

а е.д.н. на котвата е

$$e_a = K_e \omega.$$

Структурната схема на постояннотоковия двигател е показана на фиг. 1.

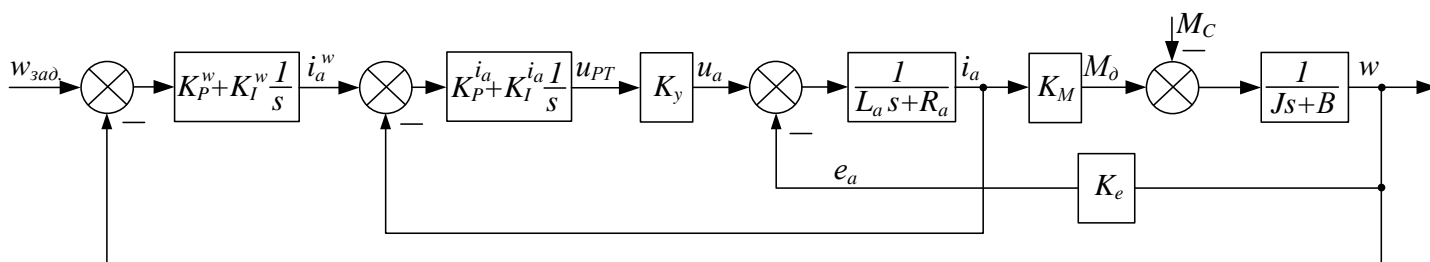
Параметрите на постояннотоковия двигател са (Dobra, P., Gh. Lazea, D. Moga, M. Trusca, 2002): $L_a = 2,75 \cdot 10^{-6} H$, $R_a = 4 \Omega$, $J = 3,23 \cdot 10^{-6} kg \cdot m^2/s^2$, $B = 3,51 \cdot 10^{-6} N \cdot m \cdot s$, $K_M = 0,0274 N \cdot m/A$, $K_e = 0,0274 \frac{V}{rad/s}$.



Фиг. 1. Структурна схема на постояннотоковия двигател

1.1. Синтез на конвенционални ПИ регулатори

Структурна схема на системата за регулиране на скоростта на постояннотоков двигател е показана на фиг. 2 (Лехов, Г., В. Стоянов, 1994).



Фиг. 2. Структурна схема на системата за управление на скоростта на постояннотоковия двигател

Първо се синтезира ПИ регулатор на ток (Dobra, P., Gh. Lazea, D. Moga, M. Trusca, 2002)

$$W_{PI}^{i_a}(s) = K_P^{i_a} + K_I^{i_a} \frac{1}{s}$$

Пренебрегва се връзката по е.д.н. на котвата и поради сравнително високото бързодействие на този контур за предавателната функция на затворения контур по ток се получава

$$W_{зк}^{i_a} \cong \frac{K_P^{i_a} K_y s + K_I^{i_a} K_y}{L_a s^2 + (K_P^{i_a} K_y + R_a) s + K_I^{i_a} K_y}$$

Поради относително малкия ефект на $R_a i_a$ в $\frac{dT_e}{dt}$ ($T_e = L_a/R_a$) за предавателната функция на затворения контур по ток може да се запише

$$W_{зк}^{i_a} \cong \frac{K_P^{i_a} K_y s + K_I^{i_a} K_y}{L_a s^2 + K_P^{i_a} K_y s + K_I^{i_a} K_y}$$

Собствената честота $f^{i_a} = \frac{\omega_0^{i_a}}{2\pi}$ се избира да бъде една десета от честотата $f_{ТП}$ и коефициентът на затихване се избира $\xi^{i_a} = 1$. Тогава за параметрите на ПИ регулатора се получава

$$\frac{K_I^{i_a} K_y}{L_a} = (\omega_0^{i_a})^2, \frac{K_P^{i_a} K_y}{L_a} = 2\xi^{i_a} \omega_0^{i_a}$$

Второ се синтезира ПИ регулатор на скорост (Dobra, P., Gh. Lazea, D. Moga, M. Trusca, 2002)

$$W_{PI}^{\omega}(s) = K_P^{\omega} + K_I^{\omega} \frac{1}{s}$$

Собствената честота на затворения контур по скорост f^{ω} се избира да бъде една десета от честотата на контура по ток. Тогава за предавателната функция на затворения контур по скорост може да се запише

$$W_{зк}^{\omega} \cong \frac{K_P^{\omega} K_M s + K_I^{\omega} K_M}{J s^2 + K_P^{\omega} K_M s + K_I^{\omega} K_M}$$

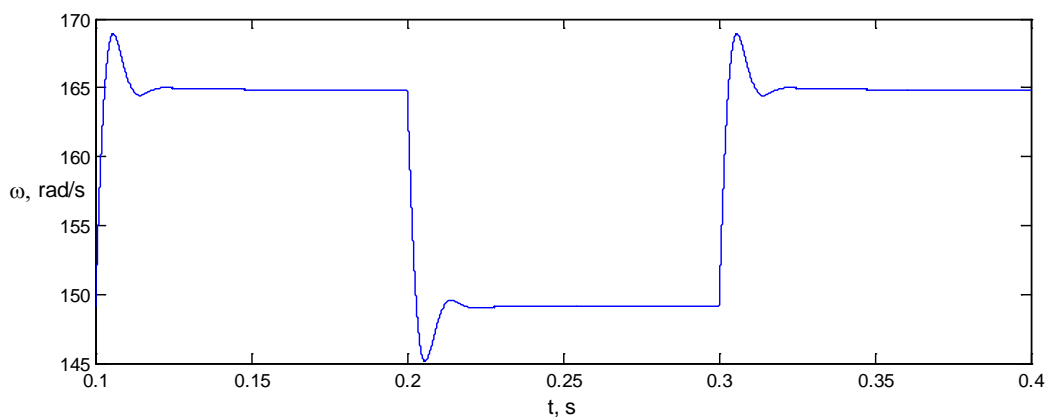
За коефициента на затихване се приема $\xi^\omega = 1$. Тогава за параметрите на ПИ регулатора на скорост се получава

$$\frac{K_I^\omega K_M}{J} = (\omega_0^\omega)^2, \frac{K_P^\omega K_M}{J} = 2\xi^\omega \omega_0^\omega.$$

След заместване с числените стойности за постояннотоковия двигател при честоти $\omega_0^{i_a} = 924 \text{ rad/s}$ и $\omega_0^\omega = 92,4 \text{ rad/s}$ се изчисляват параметрите на регулатора на ток и параметрите на регулатора на скорост

$$K_p^{i_a} = 0,0965, K_I^{i_a} = 45,467, K_p^\omega = 0,450, K_I^\omega = 21,182.$$

В Matlab\Simulink е реализиран модел на синтезираната система. На фиг. 3 е построен преходният процес на системата при съпротивителен момент $M_C = 0,4 \text{ N.m}$ и задаващо въздействие $\pm 5\%$ от номиналната стойност $\omega = 50\pi \text{ rad/s}$. Очевидно е, че преходните процеси са с много голямо пререгулиране.



Фиг. 3. Преходни процеси в САУ с ПИ регулатори, настроени с класически метод

1.2. Синтез на ПИ регулатори чрез генетичен алгоритъм

Важен момент при оптимизационните методи за настройка на регулаторите е изборът на критерия за оптималност. Използването на критерии, основани само на сигнала на грешката в системата трудно биха удовлетворили изискванията за динамичните показатели на системата – времетраене и пререгулиране. Затова все по-често при решаване на оптимизационни задачи се използват не един, а няколко критерия J_i , отчитащи особеностите и изискванията на съответната задача. Решаването на получената задача за векторна оптимизация може да стане по различни начини. Най-често се прилага тегловният метод, при който задачата се свежда до оптимизация при един критерий $J_T = \sum_i \alpha_i J_i$. Тегловните коефициенти α_i се използват, ако има голяма разлика между стойностите на отделните критерии J_i , или ако желаем някой да има по-голяма тежест. Всеки от отделните критерии J_i , би трябвало да е нормиран. Връзката между обобщения критерий J_T и параметрите за настройка на ПИ регулаторите е нелинейна, което определя целесъобразността от прилагане на генетичния алгоритъм за настройката им.

В настоящата работа е използван критерият

$$J_T = \omega_1 \frac{\int_0^T e^2(t) dt}{\max(e(n))} + \omega_2 \cdot \sigma + \omega_3 \frac{t_p}{T},$$

където t_p е времетраенето на преходния процес, s;

σ - пререгулирането, %;

T - времето за симулация, s.

Оптимизационната задача за настройка на ПИ регулаторите е решена в Matlab и Simulink. В Simulink е направен модел на затворената система за автоматично регулиране, като в блоковете

на ПИ регулаторите са въведени променливите K_p^{ia} , K_I^{ia} , K_p^ω и K_I^ω . Грешката, управляващото въздействие и регулируемата величина се изпращат в работното пространство на Matlab. Функцията, изчисляваща критерия за оптимизация е записана в M-file (evaluation_JT). В него са обявени глобалните променливи K_p^{ia} , K_I^{ia} , K_p^ω и K_I^ω , чрез командата `sim` се извиква Simulink модела и се изчислява целевата функция. Генетичният алгоритъм се стартира чрез M-file или в команден режим на Matlab, чрез командите:

```
>> global Kpc Tic Kpt Tit
>> options=gaoptimset;
>> options=gaoptimset(options,'MutationFcn',@mutationadaptfeasible);
>> options=gaoptimset(options,'PlotFcns',@gplotbestf);
>> options=gaoptimset(options,'StallTimeLimit',150); % Възможна е промяна и на други
настройки на оптимизационната процедура
>> LB=[0 0 0];
>> UB=[1 60 0.5 60];
>> [X,fval]=ga(@evaluation_JT,4,[],[],[],[],LB,UB,[],options)
```

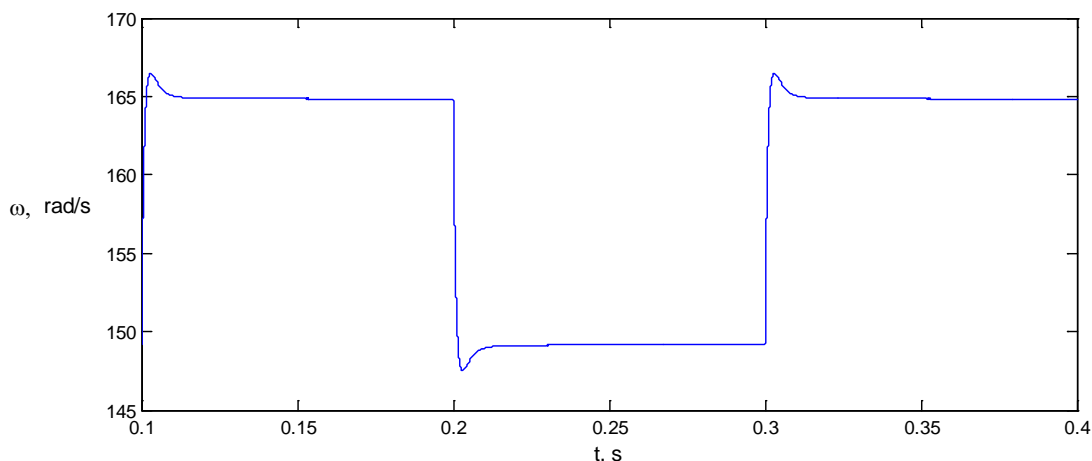
Векторите LB и UB, определящи долната и горната граници на параметрите за оптимизация K_p^{ia} , K_I^{ia} , K_p^ω и K_I^ω се задават в граници, близки до стойностите на параметрите за настройка, определени предварително по класическия метод.

Оптимизационната процедура се прекратява при достигане на зададения FunctionTolerance (options.TolFun).

Оптималните параметри на регулатора на ток и на регулатора на скорост са

$$K_p^{ia} = 0,65, K_I^{ia} = 50,431, K_p^\omega = 0,152, K_I^\omega = 46,231.$$

На фиг. 5 е построен преходният процес на системата при съпротивителен момент $M_C = 0,4 N.m$ и задаващо въздействие $\pm 5\%$ от номиналната стойност $\omega = 50\pi rad/s$ при получените с генетичния алгоритъм параметри на регулаторите. Очевидно е, че пререгулирането и времетраенето им значително намаляват.



Фиг.4. Преходни процеси в САУ с ПИ регулатори, настроени с генетичния алгоритъм

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на генетичния алгоритъм за настройка на ПИ регулатора по скорост и ПИ регулатора по ток дава много добри резултати за пререгулирането и времетраенето в системата за автоматично управление на скоростта на постоянноотокъв двигател. По-нататъшни изследвания ще бъдат насочени към многокритериална оптимизация при настройка на регулаторите, с цел да се сравнят преходните процеси с тези, получени при настройката по обобщения скаларен критерий.

БЛАГОДАРНОСТИ

The research is supported by a contract with Ruse University "Angel Kanchev" under NSF-2021 - EEA – 04.

REFERENCES

Dobra, P., Gh. Lazea, D. Moga, M. Trusca (2002). Robust Control of Servo Motor: LMI Approach, ACTA Electrotechnica, Vol. 43, N1, 43-48.

Lehov, G., V. Stojanov (1994). Introduction to the Control Theory. Guide for seminars, University of Rouse, p. 75. (Оригинално заглавие: Лехов, Г., В. Стоянов. Въведение в теорията на автоматичното управление. Ръководство за упражнения, ВТУ, Русе, 1994,75 с.)

Nagaraja, R., Dr. Shantharama Rai. C (2018). Analysis of speed Control of DC Motor using Various Controllers, International Journal of Recent Research aspects, Vol. 5, Issue 1, 50-54.

Neenu Thomas, Dr. P. Poongodi (2009). Position Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PID Controller, Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol. II, London, U.K.

Nikhil Tripathi, Rameswar Singh, Renu Yadav (2015). Analysis of Speed Control of DC Motor – A review study; IRJET Journal, Vol. 2, Issue 8.