

SELF-REACTANCE SYNTHESIS OF SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL ASYNCHRONOUS DRIVE

Y. I. Shadkhin, J. J. Toygozhinova

Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: janar_tj@mail.ru

Key words: frequency converter, induction motor, nonlinear filter, Lyapunov function, synthesis of parameters.

Abstract. In the article possibility of the synthesis parameters of closed loop system of automatic control of asynchronous electric drives are considered.

In the given structural diagram of the Frequency Converter - Induction motor system with speed feedback nonlinear correction as speed control of induction motor to achieve the desired properties of control processes was introduced. The dynamics of the closed-loop Frequency Converter - Induction Motor system is described by a system of nonlinear differential equations with known numerical values of the parameters of the induction motor and the unknown parameters of the Frequency Converter and the nonlinear correction system. Synthesis of unknown parameters of closed-loop Frequency Converter - Induction Motor system is realized by using Lyapunov function and its time derivative. In synthesis program, unknown parameters of closed-loop Frequency Converter - Induction Motor system Lyapunov function is represented as function of many variables. The derivative of the Lyapunov function is represented as a constraint in the form of equality to the independent variables. In accordance with the graphs of transient processes of speed and electromagnetic torque of induction motor in MATLAB with the required qualitative characteristics of transient processes of motor calculated parameters of the Frequency Converter and nonlinear correction system are selected. Calculated unknown parameters of closed-loop Frequency Converter - Induction Motor system and graphics of transient processes of speed and electromagnetic torque of the motor display onscreen of the computer is carried out simultaneously to facilitate the solution of the synthesis problem in “operator – computer” dialog operation mode.

УДК 331.41/43

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Ю. И. Шадхин, Ж. Ж. Тойгожинова

Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: преобразователь частоты, асинхронный двигатель, нелинейный фильтр, функция Ляпунова, синтез параметров.

Аннотация. В статье приводится нелинейная система управления асинхронным электроприводом, математическое описание системой ПЧ – АД с обратной связью по скорости и программа синтеза параметров системы управления в MATLAB.

Синтез параметров системы управления асинхронным электроприводом наиболее эффективен в диалоговом режиме использования ЭВМ, когда оператор, получив от ЭВМ промежуточные результаты счета, анализирует полученную информацию и направляет дальнейшую деятельность ЭВМ [1]. В связи с этим создание программы синтеза параметров системы управления асинхронным электроприводом, учитывающая диалоговый режим оператор – ЭВМ, является одной из

востребоваемых задач проектирования систем управления электроприводами. Структурная схема замкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат [2] и с нелинейным регулятором скорости показана на рисунке 1.

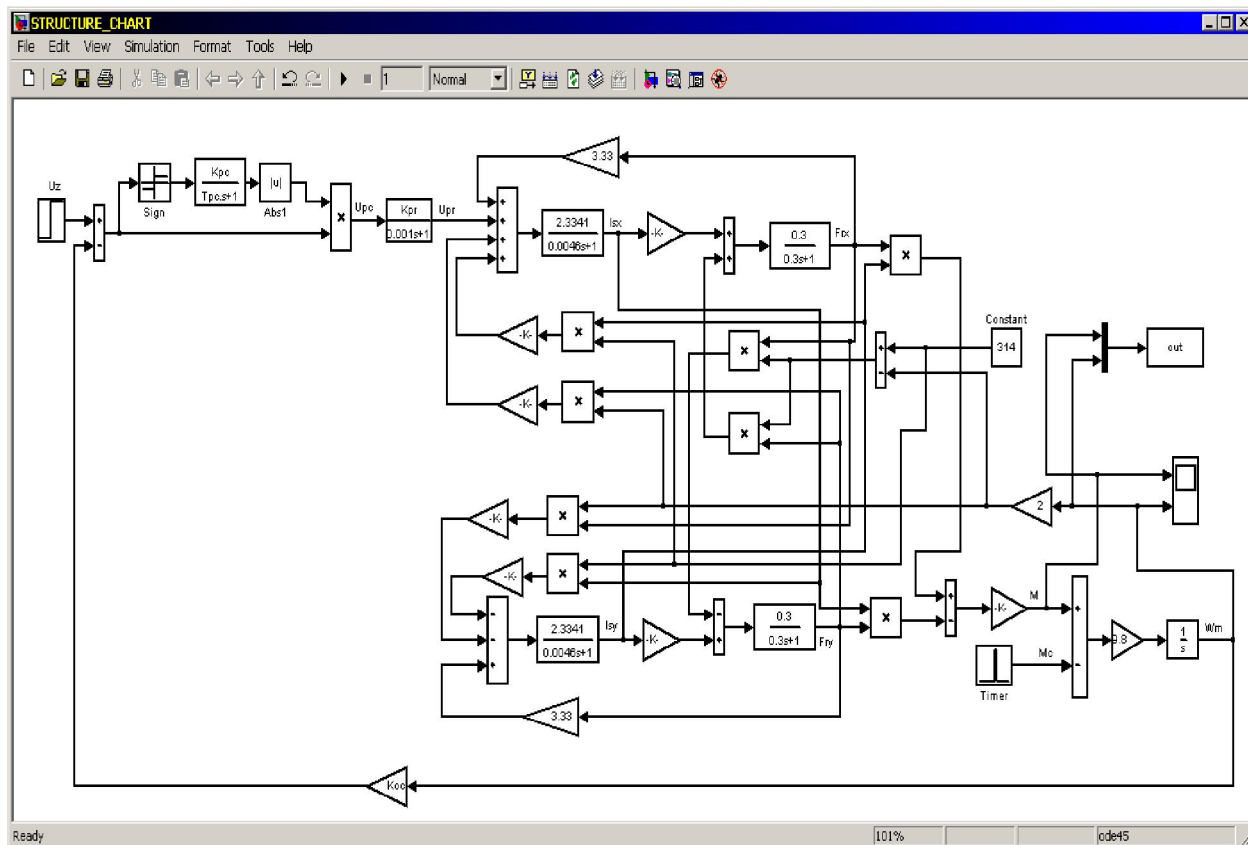


Рисунок 1 – Структурная схема замкнутой системы ПЧ – АД

На рисунке 1 структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором АКЗ 20НР (15 kW) построена с паспортными данными и параметрами системы [2]. В структурной схеме преобразователь частоты (ПЧ) представлен инерционным звеном $K_{PR}/(T_{PR}p + 1)$, где $T_{PR} = 0,001$ согласно [3]. Регулятор скорости замкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ – АД) представлен нелинейным фильтром с амплитудным ослаблением [4]. Нелинейный фильтр обеспечивает ослабление амплитуды с ростом частоты без изменения фазы, что позволяет увеличить область устойчивости системы. Нелинейный фильтр состоит из следующих звеньев: множительное звено (блок умножения), звено с нелинейной характеристикой $|u|$; аperiодическое звено с передаточной функцией $W(p) = K_{PC}/(T_{PC}p + 1)$; звено с нелинейной характеристикой $sign(x)$. Неизвестными параметрами (подлежащие синтезу) являются численные значения параметров нелинейного фильтра, т.е. численное значение коэффициента K_{PC} , постоянной времени T_{PC} . Коэффициент передачи преобразователя частоты K_{PR} и коэффициент обратной связи K_{OC} системы также подлежат определению. Математическое описание асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АКЗ) во вращающейся системе координат, можно записать следующей системой дифференциальных уравнений в операторной форме [2]:

$$\begin{aligned}
U_1 &= r(1 + T'_S s) i_{Sx} - \omega_1 L'_S i_{Sy} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{Rx} - k_R p \omega_m \psi_{Ry}, \\
0 &= r(1 + T'_S s) i_{Sy} - \omega_1 L'_S i_{Sx} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{Ry} - k_R p \omega_m \psi_{Rx}, \\
0 &= -k_R R_R i_{Sx} + \frac{1}{T_R} \psi_{Rx} + s \psi_{Rx} - (\omega_1 - p \omega_m) \psi_{Ry}, \\
0 &= -k_R R_R i_{Sy} + \frac{1}{T_R} \psi_{Ry} + s \psi_{Ry} - (\omega_1 - p \omega_m) \psi_{Rx}, \\
m &= 1.5 p k_R (\psi_{Rx} i_{Sy} - \psi_{Ry} i_{Sx}), \quad Js \omega_m = M - M_H,
\end{aligned} \tag{1}$$

где $r = (R_S + k_R^2 R_R)$, $L'_S = (L_S - \frac{L_m^2}{L_R})$, $k_R = \frac{L_m}{L_R}$, $T_R = \frac{L_R}{R_R}$.

После несложных преобразований и замены переменных система уравнений (1), с учетом уравнений преобразователя частоты и нелинейного фильтра, с численными значениями известных и неизвестных коэффициентов принимает следующий вид:

$$\begin{aligned}
\frac{dx_1}{dt} &= 0,217x_4 - 314x_2 + 2x_2x_5 - 3,33x_1, \\
\frac{dx_2}{dt} &= 0,217x_3 + 314x_1 - 2x_1x_5 - 3,33x_2, \\
\frac{dx_3}{dt} &= 506,52x_6 + 1686,72x_2 + 997,85x_1x_5 + 311,5x_4 - 217,39x_3, \\
\frac{dx_4}{dt} &= 1686,72x_1 - 997,85x_2x_5 - 311,5x_3 - 217,39x_4, \\
\frac{dx_5}{dt} &= 28,9x_2x_4 - 28,9x_1x_3 - 9,8M_H, \\
\frac{dx_6}{dt} &= 1000k_{PR}(u - k_{OC}x_5) \cdot \text{abs}(x_7) - 1000x_6, \\
\frac{dx_7}{dt} &= (k_{PC} / T_{PC}) \cdot \text{sign}(u - k_{OC}x_5) - (1 / T_{PC})x_7,
\end{aligned} \tag{2}$$

здесь $x_1 = \psi_{Ry}$, $x_2 = \psi_{Rx}$, $x_3 = i_{Sx}$, $x_4 = i_{Sy}$, $x_5 = \omega_m$, $x_6 = u_{PR}$, $x_7 = u_{PC}$.

Синтез параметров замкнутой системы ПЧ – АД: K_{PR} , K_{PC} , T_{PC} и K_{OC} рассматривается с помощью функции Ляпунова и её производной по времени.

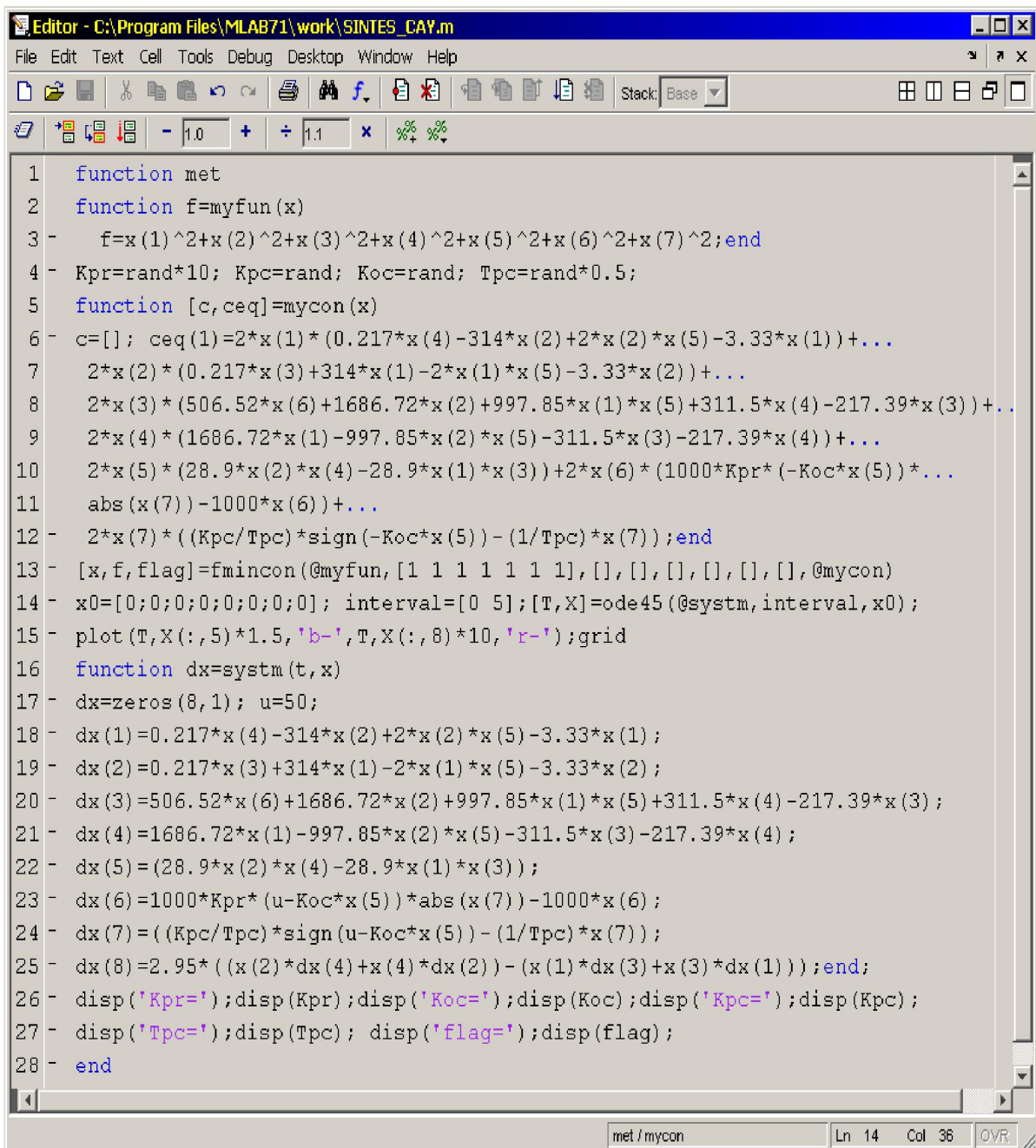
Функция Ляпунова имеет следующий вид:

$$V = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2 + x_7^2. \tag{3}$$

Производная функции V , с учетом правых частей уравнений (2), запишется в виде:

$$\begin{aligned}
\frac{dV}{dt} &= 2x_1(0,217x_4 - 314x_2 + 2x_2x_5 - 3,33x_1) + 2x_2(0,217x_3 + 314x_1 - 2x_1x_5 - 3,33x_2) + \\
&2x_3(506,52x_6 + 1686,72x_2 + 997,85x_1x_5 + 311,5x_4 - 217,39x_3) + 2x_4(1686,72x_1 - \\
&997,85x_2x_5 - 311,5x_3 - 217,39x_4) + 2x_5(28,9x_2x_4 - 28,9x_1x_3) + 2x_6(1000k_{PR}(u - k_{OC}x_5) \times \\
&\cdot \text{abs}(x_7) - 1000x_6) + 2x_7((k_{PC} / T_{PC}) \cdot \text{sign}(u - k_{OC}x_5) - (1 / T_{PC})x_7).
\end{aligned} \tag{4}$$

В процессе синтеза параметров системы управления, с применением ЭВМ, для обеспечения устойчивости замкнутой системы ПЧ – АД необходимо выбрать параметры K_{PR} , K_{PC} , T_{PC} и K_{OC} таким образом, чтобы выполнялось условие устойчивости системы, т.е. производная функции V имела знак противоположный знаку функции Ляпунова [5]. Для выполнения условия устойчивости замкнутой системы ПЧ – АД параметры K_{PR} , K_{PC} , T_{PC} и K_{OC} задаются случайными числами, обеспечивая устойчивость движения и поиск указанных параметров системы. Программа определения численных значений параметров K_{PR} , K_{PC} , T_{PC} и K_{OC} в системе MATLAB, основанная на [6] с одновременным выводом графиков переходных процессов скорости и электромагнитного момента двигателя, представлена на рисунке 2.



```

1 function met
2 function f=myfun(x)
3 - f=x(1)^2+x(2)^2+x(3)^2+x(4)^2+x(5)^2+x(6)^2+x(7)^2;end
4 Kpr=rand*10; Kpc=rand; Koc=rand; Tpc=rand*0.5;
5 function [c,ceq]=mycon(x)
6 - c=[]; ceq(1)=2*x(1)*(0.217*x(4)-314*x(2)+2*x(2)*x(5)-3.33*x(1))+...
7 2*x(2)*(0.217*x(3)+314*x(1)-2*x(1)*x(5)-3.33*x(2))+...
8 2*x(3)*(506.52*x(6)+1686.72*x(2)+997.85*x(1)*x(5)+311.5*x(4)-217.39*x(3))+...
9 2*x(4)*(1686.72*x(1)-997.85*x(2)*x(5)-311.5*x(3)-217.39*x(4))+...
10 2*x(5)*(28.9*x(2)*x(4)-28.9*x(1)*x(3))+2*x(6)*(1000*Kpr*(-Koc*x(5))*...
11 abs(x(7))-1000*x(6))+...
12 2*x(7)*((Kpc/Tpc)*sign(-Koc*x(5))-(1/Tpc)*x(7));end
13 [x,f,flag]=fmincon(@myfun,[1 1 1 1 1 1],[],[],[],[],[],[],@mycon)
14 x0=[0;0;0;0;0;0;0;0]; interval=[0 5];[T,X]=ode45(@system,interval,x0);
15 plot(T,X(:,5)*1.5,'b-',T,X(:,8)*10,'r-');grid
16 function dx=system(t,x)
17 - dx=zeros(8,1); u=50;
18 - dx(1)=0.217*x(4)-314*x(2)+2*x(2)*x(5)-3.33*x(1);
19 - dx(2)=0.217*x(3)+314*x(1)-2*x(1)*x(5)-3.33*x(2);
20 - dx(3)=506.52*x(6)+1686.72*x(2)+997.85*x(1)*x(5)+311.5*x(4)-217.39*x(3);
21 - dx(4)=1686.72*x(1)-997.85*x(2)*x(5)-311.5*x(3)-217.39*x(4);
22 - dx(5)=(28.9*x(2)*x(4)-28.9*x(1)*x(3));
23 - dx(6)=1000*Kpr*(u-Koc*x(5))*abs(x(7))-1000*x(6);
24 - dx(7)=((Kpc/Tpc)*sign(u-Koc*x(5))-(1/Tpc)*x(7));
25 - dx(8)=2.95*((x(2)*dx(4)+x(4)*dx(2))-(x(1)*dx(3)+x(3)*dx(1)));end;
26 - disp('Kpr=');disp(Kpr);disp('Koc=');disp(Koc);disp('Kpc=');disp(Kpc);
27 - disp('Tpc=');disp(Tpc);disp('flag=');disp(flag);
28 - end

```

Рисунок 2 – Программа расчета параметров системы управления замкнутой системы ПЧ – АД

В программе расчета параметров системы управления в строках 2÷13 минимизируется функция Ляпунова среди всех векторов x , удовлетворяющие ограничению вида равенства $dV/dt = 0$. В строке 4 программы задаются определяемые параметры в виде случайных чисел. В строках 14÷25 методом Рунге – Кутта (по заданию функции *ode45* MATLAB) решается система дифференциальных уравнений динамики замкнутого асинхронного электропривода. Графики переходных процессов скорости и электромагнитного момента асинхронного двигателя, с наилучшими качественными характеристиками переходных процессов, показаны на рисунке 3. В программе строка 15 обеспечивает вывод на дисплей компьютера графики переходных процессов скорости и электромагнитного момента асинхронного двигателя.

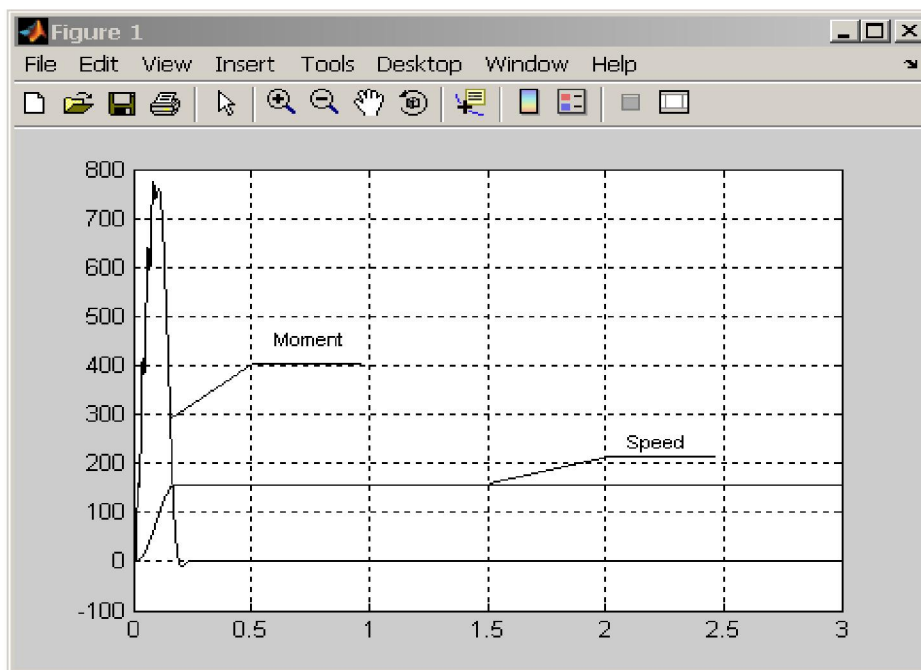


Рисунок 3 –Переходные процессы скорости и электромагнитного момента асинхронного двигателя

Как видно из рисунка 3, график переходного процесса скорости асинхронного двигателя выбран без перегулирования и колебаний, т.е. оптимальный переходной процесс скорости двигателя. Результаты счета параметров системы управления, при выбранном графике переходных процессов скорости двигателя, имеют следующие численные значения:

$$K_{pr} = 7,6 \quad K_{oc} = 0,13 \quad K_{pc} = 0,6 \quad T_{pc} = 0,05.$$

Следует отметить, что запуск программы синтеза параметров замкнутой системы ПЧ – АД на счет осуществляется до тех пор, пока не будет получен график переходного процесса скорости двигателя с требуемыми качественными характеристиками переходного процесса скорости асинхронного двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1982. – 392 с.
- [2] Герман – Галкин С.Г. MATLAB & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА – Век, 2008. – 368 с.
- [3] Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
- [4] Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат лит., 1988. – 256 с.
- [5] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Издательство «Профессия», 2004. – 752 с.
- [6] Ануфриев И.Е., Смирнов А.В., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 1104 с.

REFERENCES

- [1] Basharin A.V., Novikov V.A., Sokolovskiy G.G. Management electromechanics. – L.: Energoizdat. Leningr. separation, 1982. 392 p.
- [2] Herman – Galkin S.G. of MATLAB & Simulink. Planning of the mekhatronnykh systems on the personal COMPUTER. – SPb.: KORONA, 2008. 368 p.
- [3] Terekhov I.M. Osipov O. I. M.: Publishing center "Akademy", 2008. 304 p.
- [4] Popov E.P. Theory of nonlinear automatic control systems and management. - M.: "Nauka", 1988. 255 p.
- [5] Besekersky V.A., Popov E.P. M.: Profession Publishing house, 2004. 752 p.
- [6] Anufriev I.E. Smirnov A.B. Smirnova E.N. BHV – Petersburg, 2005. 1104 p.

АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІ АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН СИНТЕЗДЕУ

Ю. И. Шадхин, Ж. Ж. Тойгожинова

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: жиілікті түрлендіргіш, асинхронды қозғалтқыш, бейсызықты фильтр, Ляпунов функциясы, параметрлердің синтезі.

Аннотация. Мақалада асинхронды электр жетектің тұйықталған автоматты басқару жүйесінің параметрлерін синтездеу мүмкіндіктері қарастырылған. Берілген жылдамдық бойынша кері байланыстан тұратын жиілікті түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыш жүйесінің құрылымдық сұлбасында қалаулы басқару процесін алу үшін асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын реттеу сапасы ретінде бейсызықты түзету еңгізілген. Жиілікті түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыштың тұйықталған жүйесінің динамикасы асинхронды қозғалтқыштың белгілі санды параметрлерінен, жиілік түрлендіргіш пен жүйенің бейсызықты түзеткішінің белгісіз параметрлерінен тұратын бейсызықты дифференциалды теңдеулермен жазылады. Бұл жүйенің белгісіз параметрлерін синтездеу Ляпунов функциясының көмегімен және оның уақыт бойынша туындысымен орындалады. Белгісіз параметрлерді синтездеу бағдарламасында Ляпунов функциясы көптеген айнымалы функция ретінде көрсетілген. Ляпунов функциясының туындысы айнымалының тәуелсіздігіне тең түрдегі шектеуге ұқсас көрсетілген. MATLAB бағдарламасындағы асинхронды қозғалтқыштың электромагнит моментінің және жылдамдықтың өтпелі процесінің графиктерімен, қозғалтқыштың өтпелі процестерінің сипаттамаларына қойылған талап бойынша бейсызықты жүйені түзету мен жиілікті түрлендіргіштің есептелінген параметрлері таңдалады. Жиілікті түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыштың тұйықталған жүйесінің есептелген белгісіз параметрлерінің және қозғалтқыштың электромагниттік моментінің, жылдамдығының өтпелі процесінің графигі ЭЕМ дисплейіндегі экранда шығуы синтездеу мақсатын орындауды жеңілдету үшін «оператор – ЭЕМ» диалогты жұмыс режимінде орындалады.

Поступила 20.03.2015 г.