

А.Н. Бестерекова 

Ғ.Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы, Қазақстан

E-mail: a.besterekova@aes.kz

КӨПҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕГІНІҢ ПАРАМЕТРЛІК ЖИЫНТЫҒЫН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Мақалада ортақ жылдамдық реттеуіші бар көпқозғалтқышыты асинхронды электр жетегінің жылдамдық бойынша кері байланысты құрылымдық сұлбасы келтірілген. Көп қозғалтқышты электр жетегінің әрбір бір қозғалтқышты электржетегі тиристорлық кернеу түрлендіргіштер – асинхронды қозғалтқыштан жүйесінен тұрады. Асинхронды қозғалтқыштардың жалпы жылдамдық реттеуішіне сызықты емес $y = \arctg(x)$ тригонометриялық буын енгізілген. Ол жүйені басқару процесі кезінде өзіндік баптау сипатына ие болады. Мақалада көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегінің қозғалысының математикалық үлгісі негізінде басқару жүйесінің параметрлерін анықтау үшін оның бағдарламасы жасалды. Ол Matlab бағдарламасының алгоритмдік тілінде жүргізілді. Бағдарламада сканерлеу амалы және Рунге – Кутта амалдары қолданылды. Алынған нәтижелер негізінде момент және жылдамдық бойынша өтпелі үрдістістерінің сипаттамалары келтірілді.

Түйінді сөздер. Реттеуіш, тиристор, кернеу, түрлендіргіш, асинхронды қозғалтқыш, электржетегі, жүйе, теңдеу, тұйықталған жүйе, үрдіс.

Кіріспе.

Реттелетін асинхронды электр жетектерінің үрдісі болашақта қарқынды түрде жалғасады, өйткені электр жетегі асинхронды қозғалтқыштар негізінде жүзеге асырылуы мүмкін. Қолданыстағы синхронды айналатын механизмдерінің көп қозғалтқышты электржетегі жүйелерінде, тиристорлық кернеу түрлендіргіштері мен асинхронды қозғалтқыштардың саны көп, осындай жағдайда электр жетектерінің математикалық сипаттамасын алу қиынға соғады.

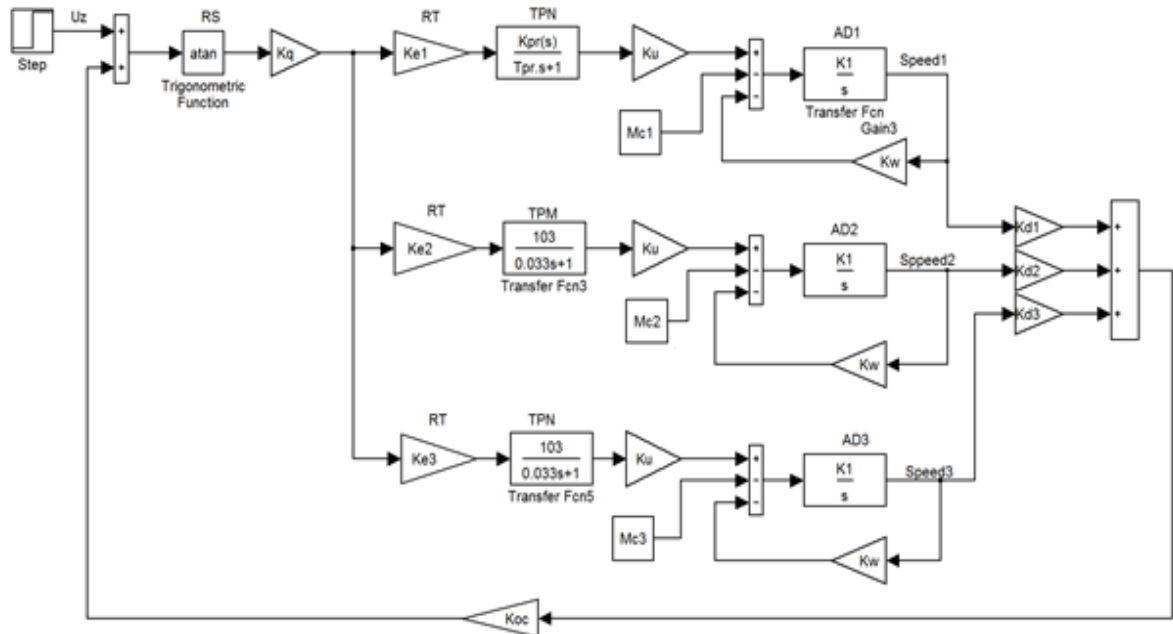
Тиристорлық кернеу түрлендіргіштері қолданылатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің параметрлік синтезі үшін, асинхронды қозғалтқыштың шекті жұмыс сипаттамасы және MATLAB қолданбалы пакеті арқылы алынған математикалық үлгісі жасалды.

Параметрлік синтез алгоритмінің құрылымдық сұлбасы тікелей Ляпунов әдісінің теориясына, сканерлеудің сандық әдісіне және кездейсоқ сандарға негізделіп құрылды.

Мақалада асинхронды қозғалтқыштардың айналу жиілігінің датчиктерінен кері байланыспен тұйықталған асинхронды қозғалтқыштардың жалпы жылдамдық реттегіші бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің құрылымдық сұлбасы келтірілген. Әрине, басқару жүйесінің параметрлерін синтездеу мәселесін, жүйе динамикасының сызықтық теңдеулерінің шектеулі саны бар басқару жүйелері үшін белгілі әдістермен шешуге болады. Осыған байланысты мақалада Matlab матрицалық зертханасының көмегімен көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің басқару жүйесінің параметрлерін синтездеу мәселесін шешудің жаңа тәсілі қарастырылады.

Материалдар мен тәсілдер.

КҚАЭЖ құрылымдық сұлбасы Simulink – Matlab ортасында жасалды сурет 1.



1 сурет - Автоматтандырылған ҚҚАЭЖ құрылымдық сұлбасы

Суретте линеаризацияланған тиристорлы кернеу түрлендіргіш асинхронды қозғалтқыш жүйесі келтірілген. АБЖ параметрлерінің синтезін есептеу үшін, ҚҚАЭЖ динамикасының теңдеуі жазылады:

$$\frac{dx_1}{dt} = k_1 k_u x_2 - k_1 k_\omega x_1; \quad (1)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = ((k_{PR} k_{e1}) / T_{PR}) \cdot (k_q \arctg(u - k_{oc} k_d (x_1 + x_3 + x_5))) - (1 / T_{PR}) \cdot x_2; \quad (2)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = k_1 k_u x_4 - k_1 k_\omega x_3; \quad (3)$$

$$\frac{dx_4}{dt} = ((k_{PR} k_{e2}) / T_{PR}) \cdot (k_q \cdot \arctg(u - k_{oc} k_d (x_1 + x_3 + x_5))) - (1 / T_{PR}) \cdot x_4; \quad (4)$$

$$\frac{dx_5}{dt} = k_1 k_u x_6 - k_1 k_\omega x_5; \quad (5)$$

$$\frac{dx_6}{dt} = ((k_{PR} k_{e3}) / T_{PR}) \cdot (k_q \cdot \arctg(u - k_{oc} k_d (x_1 + x_3 + x_5))) - (1 / T_{PR}) \cdot x_6; \quad (6)$$

бұл жерде x_1, x_3, x_5 – асинхронды қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығы;

x_2, x_4, x_6 – ТКТ шығыс кернеуі;

$k_1 = 1 / J$, J – инерция моменті;

k_u – АҚ моментінің сезімталдық коэффициенті;

k_ω – қозғалтқыштың моментінің өзгеру коэффициенті.

k_{PR} – ТКТ беріліс коэффициенті ТПН, k_{Ei} – ток реттеуішінің күшейу коэффициенті, k_q – жылдамдық реттеуішінің коэффициенті, k_d – асинхронды қозғалтқыштың жылдамдық датчиктерінің күшейу коэффициенті.

Теңдеу жүйесін өзімізге ыңғайлы етіп бағдарламада жазып аламыз:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 x_2 - a_2 x_1; \quad (7)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_3 \cdot k_{e1} k_{PR} \cdot (k_q (a \tan(u - k_{oc} k_d (x_1 + x_3 + x_5))) - a_3 \cdot x_2); \quad (8)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = a_1 x_4 - a_2 x_3; \quad (9)$$

$$\frac{dx_4}{dt} = a_3 \cdot k_{e2} k_{PR} \cdot (k_q (a \tan(u - k_{oc} k_d (x_1 + x_3 + x_5))) - a_3 \cdot x_4); \quad (10)$$

$$\frac{dx_5}{dt} = a_1 x_6 - a_2 x_5; \quad (11)$$

$$\frac{dx_6}{dt} = a_3 \cdot k_{e3} k_{PR} \cdot (k_q (a \tan(u - k_{oc} k_d (x_1 + x_3 + x_5))) - a_3 \cdot x_6). \quad (12)$$

Бұл жердегі $a_1 = k_1 k_u$, $a_2 = k_1 k_\omega$, $a_3 = 1/T_{PR}$, $a \tan$ – Matlab функциясы ($\arctg(x)$) алмастыру).

Нәтижелер мен талқылау.

Параметрлердің синтез бағдарламасы K_{PR} , K_{e1} , K_{e2} , K_{e3} , K_q Matlab алгоритмдік тілінде құралды сурет 2де көрсетілген.

```
1 function ALBEST;
2 global kpr; global kq; global koc;
3 global ke1; global ke2; global ke3;
4 global s1; global s2; global s3;
5 global s4; global s5; global s6;
6 global s7; global s8; global s9;
7 global s10; global s11; global s12;
8 clc
9 n=6;r=0;s1=0;s3=0;s5=0;s7=0;s9=0;s11=0;
10 m=50000
11 for i=1:m
12 h=0.5;
13 q1=1e6; a1=5; b1=150; a2=0.5; b2=5;
14 a3=0.01; b3=0.5; a4=0.01; b4=0.5;
15 a5=0.01; b5=0.5; a6=0.01; b6=0.5;
16 kpr=a1+(b1-a1)*rand; kq=a2+(b2-a2)*rand;
17 koc=a3+(b3-a3)*(rand)*2; ke1=a4+(b4-a4)*rand^2;
18 ke2=a5+(b5-a5)*rand^2; ke3=a6+(b6-a6)*rand^2;
19 x(6)=0.1; while x(6)<=1
20 x(5)=0.1; while x(5)<=1
21 x(4)=0.1; while x(4)<=1
22 x(3)=0.1; while x(3)<=1
23 x(2)=0.1; while x(2)<=1
24 x(1)=0.1; while x(1)<=1
25 h1=0.01;
```

2 сурет - Параметрлердің синтез бағдарламасы

```
26 - i=1;
27 - while i<=n
28 -     u(i)=x(i)+h1; v(i)=x(i)-h1;
29 -     j=1;
30 -     while j<=n
31 -         if j~=i u(j)=x(j);v(j)=x(j);end
32 -         j=j+1;
33 -     end
34 -     k=1; p1=0; p2=0;

35 - while k<=n l=k;
36 - while l<=n a(k,l)=rand;
37 - p1=p1+a(k,l)*u(k)*u(l);
38 - p2=p2+a(k,l)*v(k)*v(l);
39 - l=l+1;end
40 - k=k+1;end
41 - a(i)=(p1-p2)/2/h1; i=i+1;
42 - end
43 - K1=0.38; Ku=0.6; Kw=5.08; a1=K1*Ku; a2=K1*Kw;
44 - Tpr=0.033; a3=1/Tpr; kd=0.2;
45 - d(1)=a1*x(2)-a2*x(1);
46 - d(2)=a3*ke1*kpr*(kq*atan(5-koc*kd*(x(1)+x(3)+x(5))))-a3*x(2);
47 - d(3)=a1*x(4)-a2*x(3);
48 - d(4)=a3*ke2*kpr*(kq*atan(5-koc*kd*(x(1)+x(3)+x(5))))-a3*x(4);
49 - d(5)=a1*x(6)-a2*x(5);
50 - d(6)=a3*ke3*kpr*(kq*atan(5-koc*kd*(x(1)+x(3)+x(5))))-a3*x(6);
51 - s=0; i=1;
52 - for i=1:n
53 -     s=s+abs(x(i)^2+a(i)*d(i));
54 - end
55 -     q=s;
56 -     if q<=q1 q1=q;end
57 - x(1)=x(1)+h; end
58 - x(2)=x(2)+h; end
59 - x(3)=x(3)+h; end
60 - x(4)=x(4)+h; end
61 - x(5)=x(5)+h; end
62 - x(6)=x(6)+h; end
63 - r=r+1;
64 - s1=s1+kpr; s2=sqrt((s1/m)^2);
65 - s3=s3+kq; s4=sqrt((s3/m)^2);
66 - s5=s5+koc; s6=sqrt((s5/m)^2);
67 - s7=s7+ke1; s8=sqrt((s7/m)^2);
68 - s9=s9+ke2; s10=sqrt((s9/m)^2);
69 - s11=s11+ke3; s12=sqrt((s11/m)^2);
70 - if r>=m break;end
71 - end
```

3 сурет - Параметрлердің синтез бағдарламасы

```

72 kpr=s2;Kq=s4;Koc=s6;Ke1=s8;Ke2=s10;Ke3=s12;
73 disp( АБЖ параметр синтезінің бағдарлама есебінің нәтижесі
74 disp( ТКТ беріліс коэффициенті kpr'); disp(kpr);
75 disp( жылдамдық реттеуішінің күшейу коэффициенті kq'); disp(kq);
76 disp( КҚЭЖ кері байланыс коэффициенті '); disp(koc);
77 disp( қозғалтқыштардың ток реттеуіштерінің күшейу коэффициенті (ke1);
78 disp('Ke2');disp(Ke2); disp('Ke3');disp(Ke3);
79 x0 = [0;0;0;0;0;0];
80 [T, X] = ode45(@abes,[0 5],x0);
81 plot(T,X(:,1),'k.-')
82 grid
83 function dx =abes(t,x)
84 dx=zeros(6,1);
85 kpr=s2; kq=s4; kc=s6; ke1=s8; Ke2=s10;Ke3=s12; u=5;
86 K1=0.38; Ku=0.6; Kv=5.08; a1=K1*Ku; a2=K1*Kv;
87 Tpr=0.033; a3=1/Tpr; kd=0.2;
88 dx(1)=a1*x(2)-a2*x(1);
89 dx(2)=a3*ke1*kpr*(kq*atan(5-koc*kd*(x(1)+x(3)+x(5))))-a3*x(2);
90 dx(3)=0.228*x(4)-1.93*x(3);
91 dx(4)=a3*ke2*kpr*(kq*atan(5-koc*kd*(x(1)+x(3)+x(5))))-a3*x(4);
92 dx(5)=0.228*x(6)-1.93*x(5);
93 dx(6)=a3*ke3*kpr*(kq*atan(5-koc*kd*(x(1)+x(3)+x(5))))-a3*x(6);
94 end
95 end

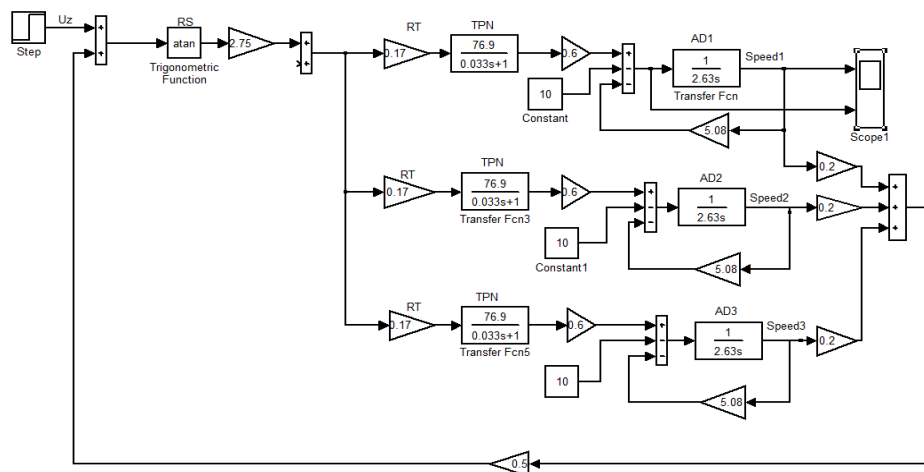
```

4 сурет - Параметрлердің синтез бағдарламасы

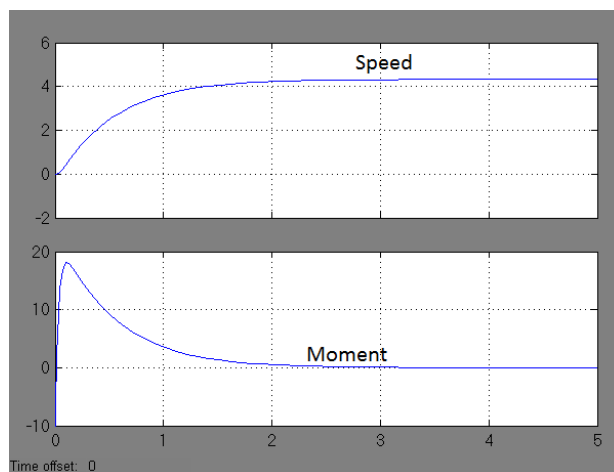
Бағдарламаны есетегеннен кейінгі нәтиженің параметрлердің сандық мәндері төмендегідей.

Бағдарламаның есептеу нәтижесі:

- ТКТ беріліс коэффициенті $k_{PR} - 76.9132$;
- жылдамдық реттеуіштің коэффициенті $k_q - 2.7526$;
- кері байланыс коэффициенті $k_{кб} - 0.5035$;
- АҚ ток датчиктерінің күшейу коэффициенті $k_{e1} - 0.1751$, $k_{e2} - 0.1734$, $k_{e3} - 0.1714$.



5 сурет – Параметрлерді енгізгеннен кейінгі КҚАЭЖ құрылымдық сұлбасы



6 сурет – Жылдамдық және моменттің өтпелі үрдістері

Қорытынды.

Көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегінің қозғалысын басқару жүйесі параметрлерінің синтездеу үшін тек математикалық түрде жазып жүзеге асуға болады. Matlab жүйесі тригонометриялық функцияларды қолдану арқылы жүйенің параметрлерін синтездеуге мүмкіндік береді. Параметрлердің сандық мәндері нақты болуы, есептеудің цикл санына тәуелді. Мақалада синтез бағдарламасы құрылды. Алынған нәтижелер негізінде момент және жылдамдықтың өтпелі үрдістері алынды. Сипаттамада электр жетегінің қозғалысы тұрақты екенін көруге болады және жүйе қайтадан реттеуді талап етпейді.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Браславский И.Я., З.Ш. Ишматов., Поляков В.Н Энергосберегающий асинхронный электропривод. - Москва. АCADEMA, 2004.- 202 б.
- [2] Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: «Наука», 1988. – 257 б.
- [3] Теория автоматического управления. Ч. II. Под ред. А.В. Нетушила. – М.: «Высшая школа», 1972. - 432 б.
- [4] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Издательство «Профессия», 2004. – 751 б.
- [5] Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. – М.: ИТ Пресс, 2006. – 464 с.
- [6] Половко А.М., Бутусов П.Н., MatLab для студента. – СПб.БВХ – Петербург, 2005. – 325 с.
- [7] Терехов И.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008 – 306 с.

REFERENCES*

- [1] Braslavskij I.Ja., Z.Sh. Ishmatov., Poljakov V.N Jenergoberegajushhij asinhronnyj jelektroprivod. - Moskva. АCADEMA, 2004.- 202 б.
- [2] Popov E.P. Teorija nelinejnyh sistem avtomaticheskogo regulirovaniya i upravlenija. – M.: «Nauka», 1988. – 257 b.
- [3] Teorija avtomaticheskogo upravlenija. Ch. II. Pod red. A.V. Netushila. – M.: «Vysshaja shkola», 1972. - 432 b.
- [4] Besekerskij V.A., Popov E.P. Teorija sistem avtomaticheskogo upravlenija. – SPb.: Izdatel'stvo «Professija», 2004. – 751 b.

[5] Alekseev E.R., Chesnokova O.V. MATLAB 7. – М.: NT Press, 2006. – 464 s.

[6] Polovko A.M., Butusov P.N., MatLab dlja studenta. – SPb.BVH – Peterburg, 2005. – 325 s.

[7] Terehov I.M., Osipov O.I. Sistemy upravlenija jelektroprivodov. – М.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2008 – 306 s.

Altyn Besterekova, master, senior lecturer, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, a.besterekova@aes.kz

ANALYSIS OF PARAMETER SET OF MULTI-ENGINE ELECTRIC DRIVE

Abstract. The article gives a block diagram of a multi-motor asynchronous electric drive, with a common speed controller of asynchronous motors, closed by speed feedback from speed sensors of asynchronous motors. A non-linear link with a trigonometric function $y=\arctg(x)$ has been introduced into the general speed controller of asynchronous motors, which gives the control system, as it were, the property of self-tuning according to the magnitude of the system error that occurs during the control process. The article provides a program for determining the parameters of the control system based on a mathematical model of the motion dynamics of a multi-motor asynchronous electric drive. The control system parameter synthesis program is written in the Matlab algorithmic language. The program uses the scanning method and the Runge-Kutta method to solve the equations of motion dynamics of a multiple asynchronous electric drive with the obtained synthesis parameters as a result of the program calculation. Transient processes of the system are obtained.

Keywords. Regulator, thyristor, voltage, converter, asynchronous motor, electric drive, system, equation, closed system, process.

Алтын Бестерекова, магистр, старший преподаватель, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, a.besterekova@aes.kz

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Аннотация. В статье дается структурная схема многодвигательного асинхронного электропривода, с общим регулятором скорости асинхронных двигателей, замкнутого обратной связью по скорости от датчиков скоростей асинхронных двигателей. В общий регулятор скоростей асинхронных двигателей введено нелинейное звено с тригонометрической функцией $y = \arctg(x)$, которое придает системе управления как бы свойство самонастройки по величине ошибки системы, возникающей в процессе управления. В статье дается программа определения параметров системы управления на основе математической модели динамики движения многодвигательного асинхронного электропривода. Программа синтеза параметров системы управления написана на алгоритмическом языке Matlab. В программе применяются метод сканирования и метод Рунге – Кутта для решения уравнений динамики движения многократного асинхронного электропривода при полученных параметрах синтеза в результате расчета программы. Получены переходные процессы системы.

Ключевые слова. Регулятор, тиристор, напряжение, преобразователь, асинхронный двигатель, электропривод, система, уравнение, замкнутая система, процесс.
