

ӘОЖ621.313.1/3

DOI 10.52167/1609-1817-2022-121-2-493-502

А.Н. Бестерекова¹, Қ.Т. Тергемес¹, А.А. Балекова²

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

Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан
E-mail: a.besterekova@aes.kz

КӨПҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕК ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН MatLab БАҒДАРЛАМАСЫ БОЙЫНША ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Мақалада ТКТ - АҚ жүйе түрінде басқарылатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі ұсынылған. Асинхронды қозғалтқыштардың жалпы жылдамдықтары арқылы көп қозғалтқышты асинхронды электржетегінің кері байланысты тұйықталған құрылымдық сұлбасы келтірілген. Реттелетін айнымалы электржетегінің жүйесі сызықты емес түзеткіш құрылғы енгүзімен ерекшеленеді, ол өзіндік бапталу қасиетіне ие. Аталып отырған ТКТ - АҚ жүйесінің үлгісі бағдарламада тұрғызылды. Matlab алгоритмдік тілінде электржетек қозғалысының тұрақтылығын анықтайтын бағдарлама жасалды. Тұйықталған көп қозғалтқышты асинхронды электржетегінің және бір қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің беріліс функцияларының теңдеулері мен сипаттамалық түбірлері келтірілді. Теңдеулердің нәтижелері ұсынылды. Алынған нәтижелер негізінде жылдамдық және моменттің өтпелі үрдістерінің сипаттамалары тұрғызылды. Сипаттама жүйенің тұрақты жұмыс жасайтынын көрсетеді.

Түйінді сөздер. Асинхронды қозғалтқыш, электржетегі, жүйе, теңдеу, тұйықталған жүйе.

Кіріспе.

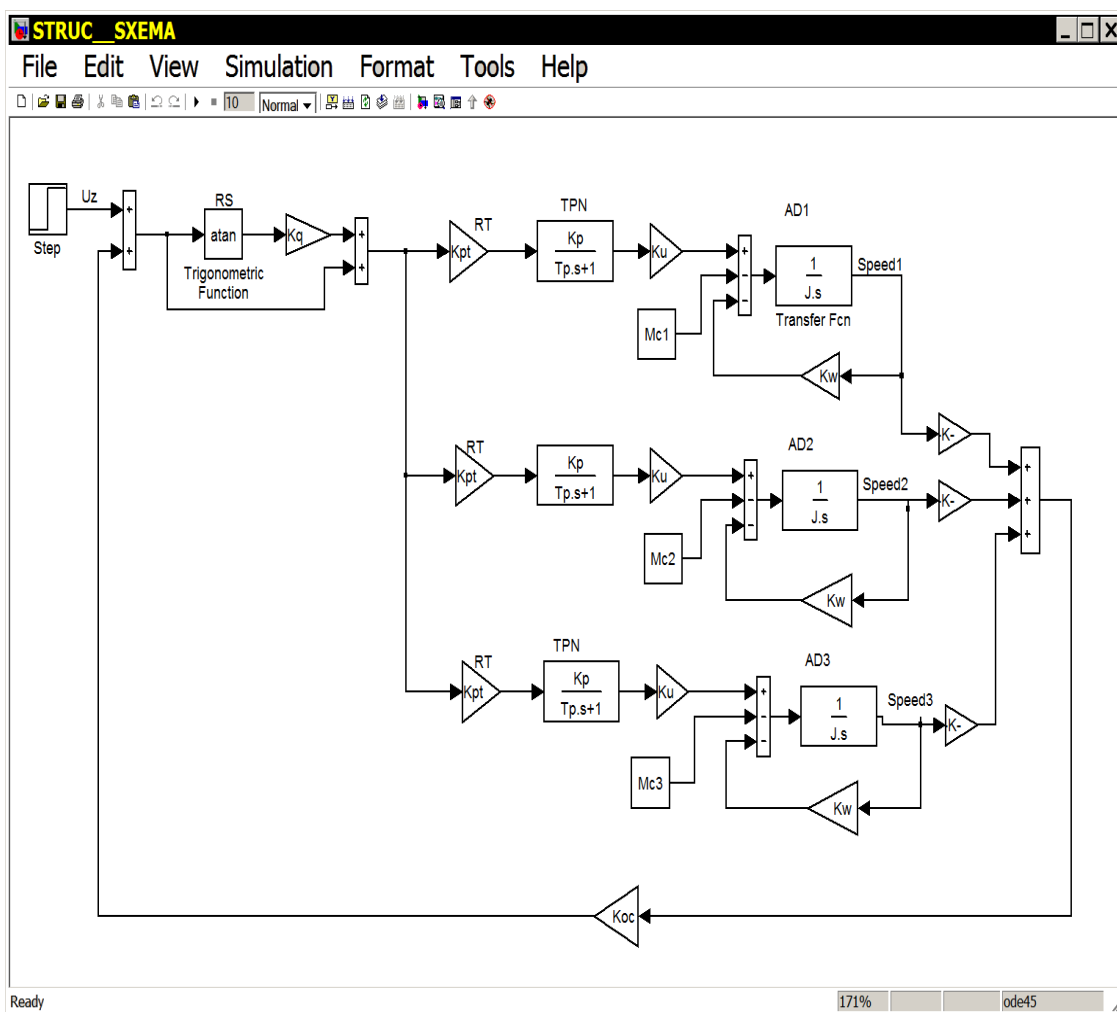
Өндіріс процестерінің сапасын арттыру мақсатында, өнеркәсіптік және ауылшаруашылық өндірісінің әртүрлі салаларына басқарылатын электр жетектерін қолдану тенденциясын енгізу қажеттілігі туындайды. Айнымалы ток машиналарының математикалық теориясының дамуы, олардың негізінде жетілдірілген күштік жартылай өткізгішті құрылғылар мен түрлендіргіштерді құру, қазіргі заманғы басқару құралдарын, соның ішінде микропроцессорларды пайдалану басқарылатын асинхронды электрлік құрылғылардың жоғары сапалы және сенімді жүйелерін жасауға мүмкіндік берді. Айнымалы ток электр жетектері еуропалық нарықта сатылған айнымалы жетектердің жалпы санының 68% құрайды. Реттелетін асинхронды электр жетектерінің үлесін арттыру тенденциясы болашақта объективті түрде жалғасады, өйткені реттелетін электр жетегі асинхронды қозғалтқыштардың негізінде жүзеге асырылуы мүмкін. Реттелетін электр жетектерін кеңінен қолдану, қазіргі заманғы өндіріс механизмдерін қажетті механикалық энергиямен қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін энергетикалық негіз ғана емес, сонымен қатар технологиялық процестерді басқару құралы болып табылады. Өндірістік процестерді сапалы автоматтандыру қазіргі кезде реттелетін электр жетектері арқылы жүзеге асады. Электр энергиясы бағасының өсуіне байланысты және энергия өндіруші

қондырғылардың қуаттылығын арттыру үшін энергияны үнемдеу, өзекті мәселе болып табылады. ТКТ қолдану арқылы номиналды жылдамдықпен жұмыс жасайтын аз жүктелген асинхронды қозғалтқыштың энергия тұтынуын азайтуға болады [7].

Материалдар және тәсілдер.

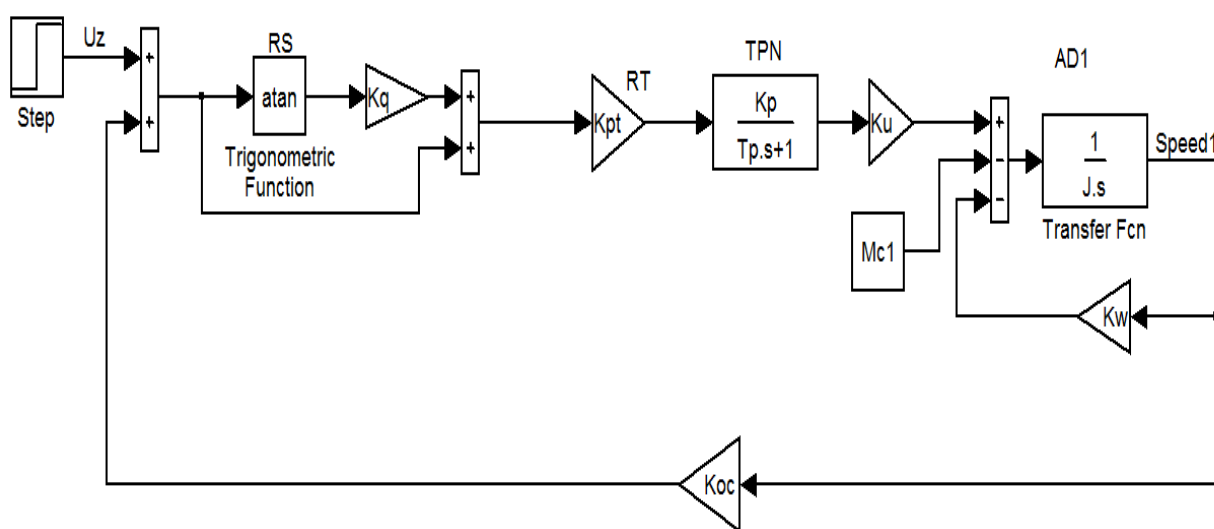
Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің (КҚАЭЖ) автоматты басқару жүйесінің қозғалысының тұрақтылығын анықтау

Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің (КҚАЭЖ) автоматты басқару жүйесінің үрдісін жобалау кезінде оның қозғалысының тұрақтылығын анықтау бастапқы мақсаты болып табылады. Асинхронды қозғалтқыштың статорындағы кернеуі реттейтін КҚАЭЖ тұйықталған жүйесінің қозғалысының тұрақтылығын жалпы жылдамдық бойынша қарастырамыз. КҚАЭЖ әр жеке асинхронды қозғалтқыштың статорына кернеу, тиристорлы кернеу түрлендіргіш арқылы беріледі, аталып отырған жүйе тиристорлы кернеу түрлендіргіш асинхронды қозғалтқыш (ТКТ-АҚ) жүйесі деп аталады. Терехов О.В ұсынған жүйеге негізделе отырып КҚАЭЖ-ң ТКТ-АҚ тұйықталған жүйесінің құрылымдық сұлбасын Simulinc – Matlab бағдарламасы арқылы тұрғызамыз сурет 1.



1 сурет - Жылдамдықтары жалпы көпқозғалтқышты электр жетегінің кері байланысты құрылымдық сұлбасы

1-ші суретте КҚАЭЖ-ң жылдамдық бойынша тұйықталған құрылымдық сұлбасы көрсетілген, оны сызықты емес түзеткішті құрылғы арқылы қарастырамыз. Сызықты емес түзеткішті құрылғысы, жүйенің қателік шамасын өздік баптау сипаты арқылы басқара алады [2]. Атап өтетін болсақ ТКТ-АҚ әрбір жүйесіне КҚАЭЖ жалпы болып табылады және жылдамдық бойынша кері байланыстан басқа, ток бойыншада кері байланыс бар. Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін, КҚАЭЖ қозғалыс тұрақтылығы әрбір бірқозғалтқышыты электр жетегінің тұрақтылығына байланысты болып табылады. Сондықтан, бірқозғалтқышты ТКТ-АҚ тұйықталған жүйесінің электр жетегінің тұрақтылығын матрицалық MATLAB-ты қолдану арқылы анықтаймыз. КҚАЭЖ бірқозғалтқышты құрылымдық сұлбасы Simulinc – Matlabта тұрғызылды 2ші сурет.



2 сурет - Жылдамдық бойынша кері байланысы бар тиристорлы кернеу түрлендіргіш асинхронлы қозғалтқыш тұйықталған жүйесі

Сызықты емес түзеткіш құрылғысы бар ТКТ-АҚ тұйықталған жүйесінің математикалық сипаттамасы төмендегідей болады:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= a_1 x_2 - a_2 x_1, & \frac{dx_2}{dt} &= a_3 x_3 - a_4 x_2, \\ x_3 &= k_q * \arctg(u - k_{oc} x_1) + u - k_{oc} x_1, \\ \frac{dx_4}{dt} &= k_u (dx_2 / dt) - k_2 (dx_1 / dt), \end{aligned} \quad (1)$$

мұндағы $k_1 = 1/J$; $k_2 = k_\omega$; $a_1 = k_1 k_u$; $a_2 = k_1 k_2$; $a_3 = (k_p k_e)/T_p$; $a_4 = 1/T_p$;
 k_p - ТКТ беріліс коэффициенті,
 T_p - ТКТ уақыт тұрақтысы,
 x_1 - АҚ жылдамдығы,
 x_2 - ТКТ шығысындағы кернеу,

u – сигнал беру әсері.

КҚАЭЖ бірқозғалтқышты электр жетегінің қозғалыс тұрақтылығын анықтау үшін (1) теңдеуді символдық түрдегі алгебралық жүйеге келтіреміз. Теңдеу (1) төмендегідей болып түрленеді:

$$\begin{aligned}w_1 x_1 - a_1 x_2 &= 0, \quad w_2 x_2 - a_3 x_3 = 0, \\k_c x_1 + x_3 - k_q (\arctg(u - k_{oc} x_1) - u) &= 0, \\k_2 w_3 x_1 - k_u w_3 x_2 + w_4 x_4 &= 0,\end{aligned}\tag{2}$$

мұндағы w_1, w_2, w_3, w_4 – символдық айнымалылар.

Талқылау.

ТКТ-АҚ тұйықталған жүйенің тұрақтылығын анықтау бағдарламасы (2)ші теңдеуді ескерек отырып MATLAB бағдарламасының алгоритмдік тілінде [3,4,5] құралды сурет 3-те келтірілген.

```
function PROGRAMMA
syms w1 w2 w3 w4
S=solve('w1*x1-a1*x2=0', 'w2*x2-a3*x3=0', ...
        'Kc*x1+x3-Kq*sign(atan(u-Kc*x1))-u=0', ...
        'K2*w3*x1-Ku*w3*x2+w4*x4=0', ...
        'x1,x2,x3,x4');
Q1=[S.x1]; Q2=[S.x4];
K1=0.38; K2=5.08; Ku=0.6; a1=Ku*K1;
a2=K1*K2; Kp=10; Tp=0.033; Ke=1;h=0.2;
Kq=1; Kc=0.1; a3=(Kp*Ke)/Tp; a4=1/Tp; u=10;
w1=tf([1 a2],[0 1]); w2=tf([1 a4],[0 1]);
w3=tf([1 0],[0 1]); w4=tf([1 0],[0 1]);
Wz1=eval(Q1); Wz2=eval(Q2);
Wc1=minreal(Wz1)
Wc2=minreal(Wz2);
p=pole(Wc1)
step(Wc1*2,'k.-',Wc2,'b.-',5)
grid
end
```

3 сурет - ТКТ –АҚ тұйықталған жүйесінің тұрақтылығын анықтау бағдарламасы

Айта кету керек, бағдарламаны есептеу үрдісі кезінде ТКТ –АҚ тұйықталған жүйесінің беріліс функциясы жасалады (W z1-13-ші жолақ). 16 – шы жолақта MATLAB

role бағдарлама функциясы теңдеудің $Wc1$ сипаттамалық түбірін есептейді. Беріліс функциясы $Wc1$ және сипаттамалық түбірдің теңдеуі 4 суретте көрсетілген.

Transfer function:

$$\frac{760}{s^2 + 32.23 s + 65.41}$$

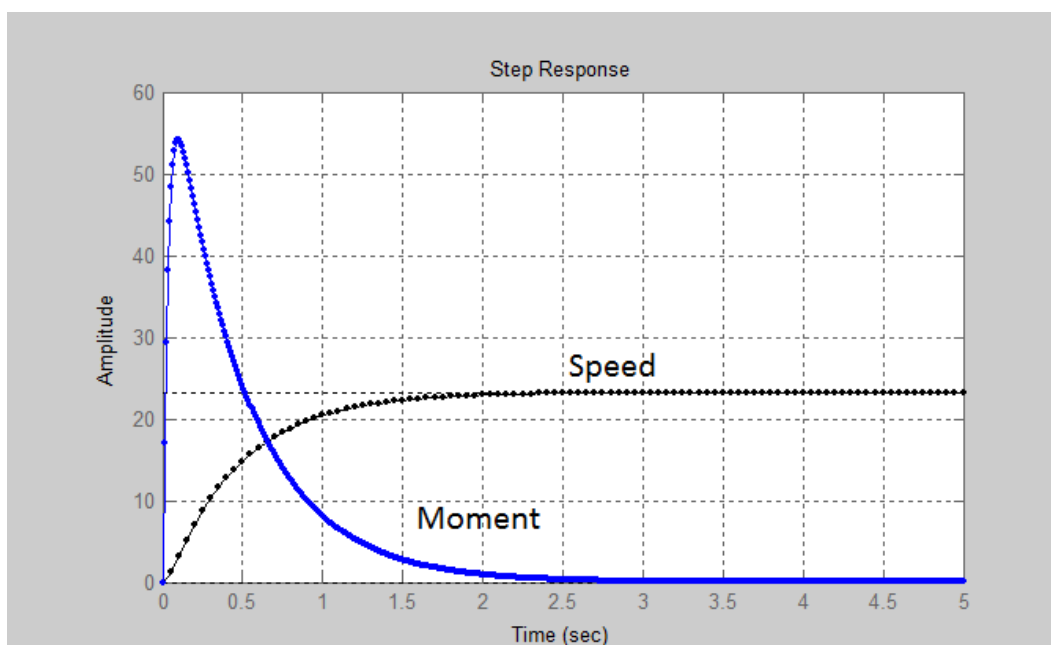
p =

$$\begin{matrix} -30.0574 \\ -2.1760 \end{matrix}$$

4 сурет - Беріліс функциясының сипаттамалық түбірінің теңдеуі

Нәтижелері.

ТКТ –АҚ тұйықталған жүйесі тұрақты, өйткені бағдарламаны есептеу кезінде беріліс функциясының сипаттамалық түбірлері теріс заттық бөлікпен шықты [3]. Сонымен қатар жүйенің тұрақтылығын 5-ші суретте келтірілген АҚ момент және жылдамдық бойынша өтпелі үрдістері растайды.



5 сурет - Жүйенің өтпелі үрдістері

КҚАЭЖ қозғалысының тұрақтылығын анықтау үшін, алдыңғы екі теңдеу негізінде әрбір АҚ жылдамдық бойынша кері байланысының динамикалық үрдісінің

математикалық сипаттамасын құраймыз. КҚАЭЖ динамикасының математикалық сипаттамасы келесідей болады:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= a_1x_2 - a_2x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_3x_7 - a_4x_2, \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_1x_4 - a_2x_3, \\ \frac{dx_4}{dt} &= a_3x_7 - a_4x_4, \\ \frac{dx_5}{dt} &= a_1x_6 - a_2x_5, \\ \frac{dx_6}{dt} &= a_3x_7 - a_4x_6, \\ x_7 &= k_q \arctg(u - k_{oc}x_8) + u - k_{oc}x_8, \\ \frac{dx_8}{dt} &= h \frac{dx_1}{dt} + h \frac{dx_3}{dt} + h \frac{dx_5}{dt}, \end{aligned} \quad (3)$$

мұндағы x_1, x_3, x_5 – асинхронды қозғалтқыштардың жылдамдықтары;

x_2, x_4, x_6 – ТКТ шығысындағы кернеу;

x_7 – шығыстағы жылдамдық реттеуіштің кернеуі;

x_8 – АҚ жылдамдық датчиктерінің кернеулерінің қосындысы;

$a_1 = k_1k_u; a_2 = k_1k_2; a_3 = (k_p k_e)/T_p; a_4 = 1/T_p; h$ – жылдамдық датчиктерінің беріліс коэффициенттері.

КҚАЭЖ бірқозғалтқышты электр жетегінің қозғалыс тұрақтылығын анықтау үшін (3) теңдеуді символдық түрдегі алгебралық жүйеге келтіреміз. Теңдеу (3) төмендегідей болып түрленеді:

$$\begin{aligned} w_1x_1 - a_1x_2 &= 0, \\ w_2x_2 - a_3x_7 &= 0, \\ w_1x_3 - a_1x_4 &= 0, \\ w_2x_4 - a_3x_7 &= 0, \\ w_1x_5 - a_1x_6 &= 0, \\ w_2x_6 - a_3x_7 &= 0, \\ x_7 + k_{oc}x_8 + k_q a \tan(u - k_{oc}x_8) - u &= 0, \\ w_3x_8 - h \cdot (k_u k_1 x_2 - k_1 k_2 x_1) - h \cdot (k_u k_1 x_4 - k_1 k_2 x_3) - \\ h \cdot (k_u k_1 x_6 - k_1 k_2 x_5) &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

мұндағы $k_1 = 0,38; k_2 = 5,08;$

$$k_u = 0,6;$$
$$w_1 = (s + a_2); s = d / dt;$$
$$w_2 = (T_p s + 1); w_3 = 1 / s;$$

КҚАЭЖ қозғалысынң тұрақтылығын анықтау бағдарламасы Matlab математикалық жүйесі негізінде 4 теңдеуге сүйене отырып құралды, 6 суретте көрсетілген.

```
function UMDP
syms w1 w2 w3
S=solve('w1*x1-a1*x2=0','w2*x2-a3*x7=0',...
        'w1*x3-a1*x4=0','w2*x4-a3*x7=0',...
        'w1*x5-a1*x6=0','w2*x6-a3*x7=0',...
        'x7+Kc*x8+sign(atan(u-Kc*x8))-u=0',...
        'w3*x8-h*w3*(x1+x3+x5)=0',...
        'x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8');
Q1=[S.x8];
K1=0.38; K2=5.08; Ku=0.6; a1=Ku*K1;
a2=K1*K2; Kp=10; Tp=0.033; Ke=0.2; Kq=1;
Kc=1; a3=Kp*Ke; h=0.1; u=10;
w1=tf([1 a2],[0 1]); w2=tf([Tp 1],[0 1]);
w3=tf([1 0],[0 1]);
Wz1=eval(Q1); Wc1=minreal(Wz1)
p=pole(Wc1)
step(Wc1,'k.-',5)
grid
end
```

6 сурет - КҚАЭЖ қозғалысынң тұрақтылық бағдарламасы

Бағдарламада есептеу процедурасы келесідей:

- 1) Бағдарламаның 2-ші жолағында символдық айнымалылар енгізіледі.
- 2) Бағдарламаның 3-тен 8-ге дейінгі жолағында solve функциясына сәйкес символдық түрде (4) теңдеу жүйесі есептеледі.
- 3) Бағдарламаның 10-нан 12-ге дейінгі жолағында берлігендер енгізіледі (КҚАЭЖ басқару жүйесінің АҚ параметрлері).
- 4) Бағдарламаның 13-тен 14-ке дейінгі жолағында АҚ, ТКТ беріліс коэффициенттері және x_8 айнымалының беріліс функциялары енгізілген.
- 5) Айнымалының беріліс функциясы x_8 Q_1 функциясы арқылы жасалады (9шы жолақ) және eval функциясы арқылы(15 ші жолақ).
- 6) pole функциясы айнымалының x_8 беріліс функциясының сипаттамалық түбірлерін есептеу үшін арналған, яғни КҚАЭЖ тұрақтылығын анықтау үшін.

7) Функция *step* айнымалының өтпелі үрдісін есептейді x_8 .

Тұйықталған КҚАЭЖ беріліс функциясы және сипаттамалық түбірлерінің теңдеуі 7 суретте көрсетілген.

$$\begin{array}{c} \text{Transfer function:} \\ 37.31 \\ \hline s^2 + 32.23 s + 62.64 \\ \\ p = \\ \\ -30.1562 \\ -2.0773 \end{array}$$

7 сурет - Тұйықталған КҚАЭЖ беріліс функциясы және сипаттамалық түбірлерінің теңдеуі

Суреттен 7 көріп отырғанымыздай бағдарламаны есептеу кезінде, нәтижесі теріс заттық бөлікпен шықты. Автоматтандырылған КҚАЭЖ қозғалысы тұрақты [5].

Қорытынды.

Реттелетін электр жетегі өндірістік және ауыл шаруашылық салаларында кеңінен қолданыс таба бастады. Энергияны үнемдеудің негізгі мақсаты ретінде біз КҚАЭЖ кері байланыстары үш тиристорлы кернеу түрлендіргішті сызықты емес жүйесін таңдаймыз.

Реттелетін айнымалы электр жетегінің жүйесіне енгізілген сызықты емес түзеткіш құрылғы, сырттан әсер ететін әсерге сезімталдықты қамтамасыз етеді. КҚАЭЖ жүйесін сызықты емес басқару жүйесі ретінде қарастыруға болады, өйткені сызықты емес түзеткіш құрылғыда, сызықты емес статикалық буындар болады. Сызықты емес түзету құрылғысы бар және жылдамдық арқылы кері байланысы бар жиілікті реттелетін асинхронды электр жетегінің MATLAB бағдарламасындағы құрылымдық сұлбасы тұрғызылып және жүйенің тұрақтылығы зерттелді. Оның момент және жылдамдық бойынша өтпелі үрдістерінің сипаттамалары алынды.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Терехов И.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 б.
- [2] Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: «Наука», 1988. – 255 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. – 752 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. – 320 с.
- [7] Браславский И.Я., З.Ш.Ишматов., Поляков В.Н Энергосберегающий асинхронный электропривод. - Москва. АСАДЕМА, 2004.- 202 б.

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

Kazhybek Tergemes, candidate of science, professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan; k.tergemes@aes.kz.

Aknur Balekova, master, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yesenov, Aktau, Kazakhstan, a.balekova@mail.ru

INVESTIGATION OF MOTION STABILITY OF A MULTI-MOTOR ELECTRIC DRIVE ACCORDING TO THE MATLAB PROGRAM

Abstract. The article presents a frequency - controlled multi-motor asynchronous electric drive with identical systems of TVC – AM. A block diagram of a closed MMAED with feedback on the total speed of asynchronous motors is given. A program for determining the stability of the movement of a single-motor electric drive in the Matlab algorithmic language is given. The transfer function of a closed single-motor asynchronous electric drive and a closed multi-motor asynchronous electric drive and the roots of the characteristic equation of the transfer function are given. The results of the equations are presented. On the basis of the results obtained, the characteristics of transient processes of speed and moment are constructed. The results show that the movement of the automated MMAED is stable.

Keywords. Electric drive, feedback, stability, speed, asynchronous electric drive, equation.

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

Кажыбек Тергемес, кандидат наук, профессор, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан, k.tergemes@aes.kz.

Акнур Балекова, магистр, Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан, a.balekova@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО ПРОГРАММЕ MatLab

Аннотация. В статье приводится частотно – регулируемый многодвигательный асинхронный электропривод с идентичными системами ТПН – АД. Дается структурная схема замкнутого МАЭП с обратной связью по суммарной скорости асинхронных двигателей. Приводится программа определения устойчивости движения однодвигательного электропривода на алгоритмическом языке Matlab. Приводится передаточная функция замкнутого однодвигательного асинхронного электропривода и замкнутого многодвигательного асинхронного электропривода и корни характеристического уравнения передаточной функции. Представлены результаты уравнений. На основании полученных результатов построены характеристики переходных процессов скорости и момента. Результаты показывают что, движение автоматизированного МАЭП устойчивое.

Ключевые слова. Электропривод, обратная связь, устойчивость, скорость, асинхронный электропривод, уравнение.
