

Э.Б.Даркенбаева¹, Г.К.Балбаев²

¹Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы, Қазақстан

²Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан
E-mail: e.darkenbaeva@aes.kz

ТАРТЫМДЫ АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ КОМПОНЕНТТЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аңдатпа. Бұл мақалада векторлық басқарумен жиілікті - реттелетін екі аймақтық асинхронды электр жетегінің сызықтық үздіксіз АБЖ бар тартымды асинхронды электр жетегін басқару жүйесіне кіретін компоненттерді математикалық модельдеу нәтижелері келтірілген. Асинхронды электр жетегі жүйесінде басқару тиімділігі оның жұмыс режимдерінің тұрақтылығы үшін, сондай-ақ функционалды мүмкіндіктерін кеңейту үшін токты, ағынды және жылдамдықты реттеудің оңтайлы тізбектерінің максималды мүмкін және қажетті параметрлерімен байланыстылығы. Беріліс функциялары сәйкесінше тұйықталған және тұйықталмаған тізбектер үшін ұсынылған. Модельдеу MATLAB Simulink бағдарламасын қолдана отырып жүргізілді, ол сәйкес контурлардағы өтпелі процестерді де, олардың логарифмдік жиілік сипаттамаларын да зерттеуге мүмкіндік береді, соның негізінде көрсеткіштерге талдау жүргізілді. Алынған нәтижелер есептелген көрсеткіштер мен жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алынған мәндер бойынша аз айырмашылықтар бар екенін көрсетеді.

Түйінді сөздер. Асинхронды электр қозғалтқышы, математикалық модель, динамикалық процесс, оңтайландыру, басқару жүйесі, ток тізбегі, ағын тізбегі, жылдамдық тізбегі.

Кіріспе.

Ток тізбегі, ағынның ілінісу тізбегі және жылдамдық тізбегі векторлық басқарылатын жиілікпен реттелетін екі аймақтық асинхронды электр жетегінің сызықтық үздіксіз АБЖ бар құрамдас бөліктері өзара байланысты компоненттер болып табылады және жұмыс режимдерінің тұрақтылығы, сондай-ақ оның функционалды мүмкіндіктерін кеңейту үшін олардың тиісті параметрлерінің оңтайлы параметрлерін конфигурациялауды қажет етеді.

Өзектілік.

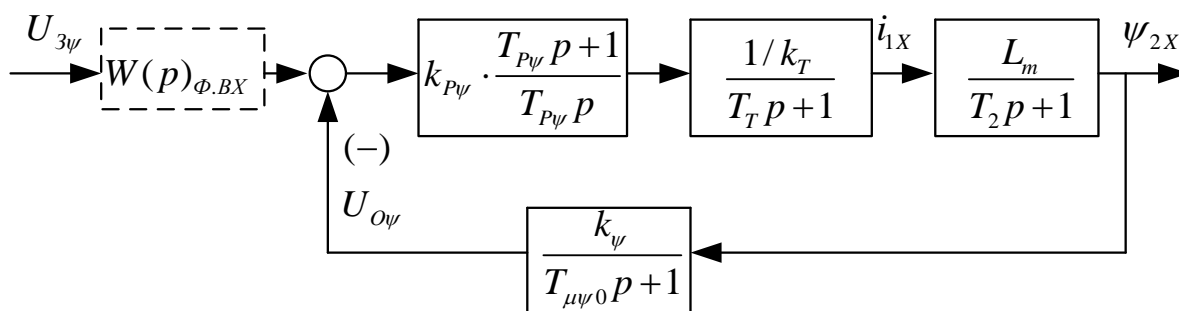
Ток тізбегі, ағындық ілінісу тізбегі және жылдамдық тізбегі сызықтық үздіксіз АБЖ жиілікпен реттелетін екі аймақтық асинхронды электр жетегі және векторлық басқару элементтері бар.

Материалдар мен тәсілдер.

жұмыста MATLAB Simulink бағдарламасында математикалық модельдеу әдістері, физиканың негізгі заңдарын қолданатын математикалық сипаттама және алынған нәтижелерді салыстырмалы талдау қолданылады [1,4,5].

Ағын ілінісі контурын зерттеу және моделдеу.

Инерциялы кері байланыс бойынша ток контурының құрылымдық сұлбасы (1 сурет) көрсетілген.



1 сурет – Ағын ілінісі контурының құрылымдық сұлбасы

Ағын ілінісінің тізбегін оңтайландыру кезінде ішкі оңтайландырылған тұйықталған ток тізбегі 1-ші ретті қысқартылған беріліс функциясымен ұсынылған [6,7]:

$$W(p)_{3AM.T} \approx \frac{1}{k_T} \approx \frac{106,884}{0,0007917 \cdot p + 1} \approx \frac{106,884}{0,0007917 \cdot p + 1}, \quad (1.1)$$

мұнда $T_T = a_T \cdot T_{\mu T \Delta} = a_T \cdot (T_{\mu T \Pi} + T_{\mu T \Theta}) = 2 \cdot (0,0000625 + 0,000333) = 0,0007917$ с, -ток контурын оңтайландыру уақыт тұрақтысы эквиваленті.

$$W(p)_{P\psi} = k_{P\psi} \cdot \frac{T_{P\psi} \cdot p + 1}{T_{P\psi} \cdot p} = 15,105 \cdot \frac{0,797 \cdot p + 1}{0,797 \cdot p}; \quad (1.2)$$

мұнда $T_{P\psi} = T_2$.

Ағын ілінісі реттегішінің уақыт тұрақтысы және күшейткіш коэффициенті келесі теңдеумен анықтаймыз:

$$k_{P\psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{\psi}} \cdot \frac{1}{a_{\psi} \cdot (T_T + T_{\mu\psi 0})} = \frac{0,797 \cdot 0,0093}{0,0095 \cdot 9,242} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0,0007917 + 0,002)} = 15,105, \quad (1.3)$$

$$\text{мұнда } k_{\psi} = \frac{U_{3\psi \text{ МАКС}}}{\psi_{2\text{ хн}}} = \frac{10}{1,082} = 9,242 \text{ В / Вб}; \quad U_{3\psi \text{ МАКС}} = 10\text{В};$$

$a_{\psi} = 2$ -оңтайлау коэффициенті.

Ағын ілінісі контуры ПИ реттегіші арқылы келесі түрде түрленеді және беріліс функциясы келесідей:

Тұйықталмаған жүйе үшін:

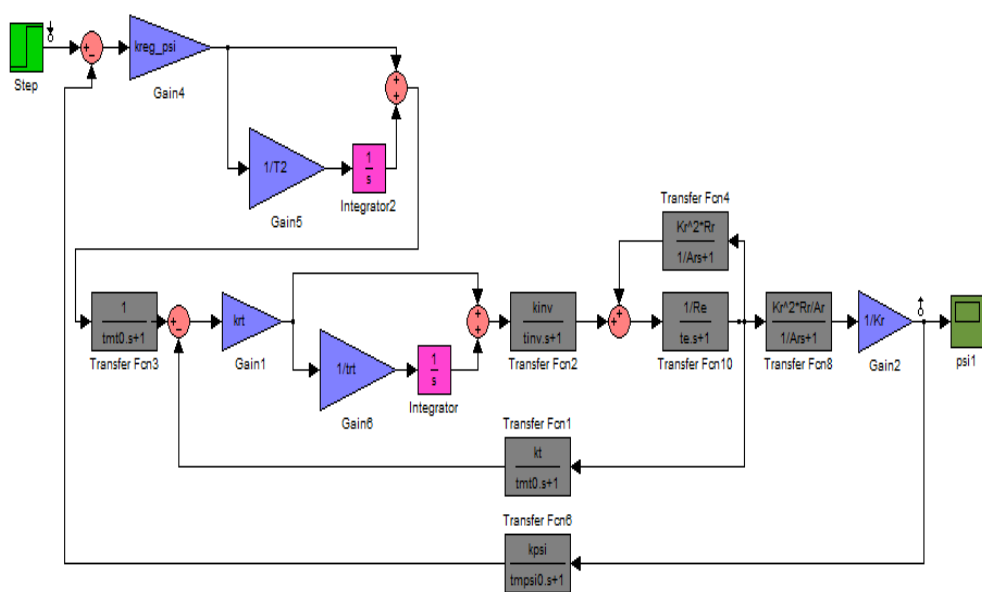
$$W(p)_{PA3.\psi} = \frac{1}{a_{\psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p^3 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p} \approx \frac{1}{2 \cdot 0,0007917 \cdot 0,002 \cdot 0,0027917 \cdot p^3 + 2 \cdot 0,0027917^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,0027917 \cdot p}; \quad (1.4)$$

Тұйықталған жүйе

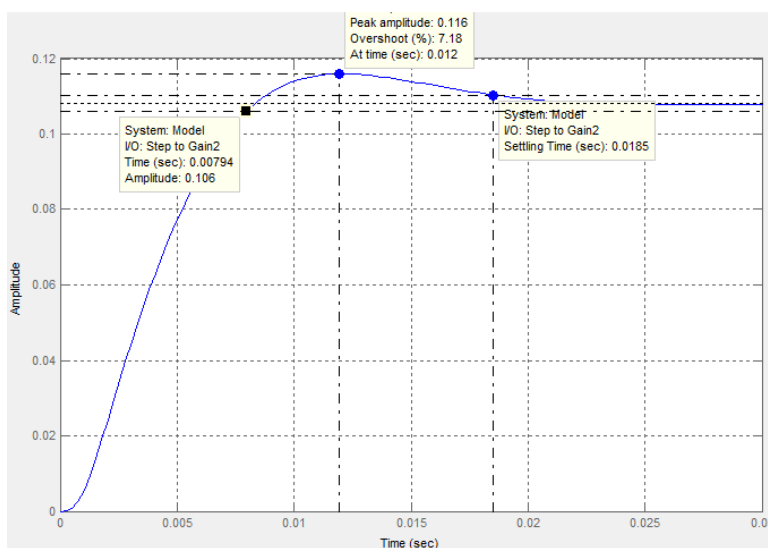
$$W(p)_{зам.\psi} = \frac{\frac{1}{k_\psi} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_\psi \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p^3 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_\psi} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_\psi \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p + 1} \approx \frac{1}{9,242} \cdot \frac{1}{0,002 \cdot p + 1};$$

$$\frac{1}{2 \cdot 0.0027917^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0.0027917 \cdot p + 1};$$

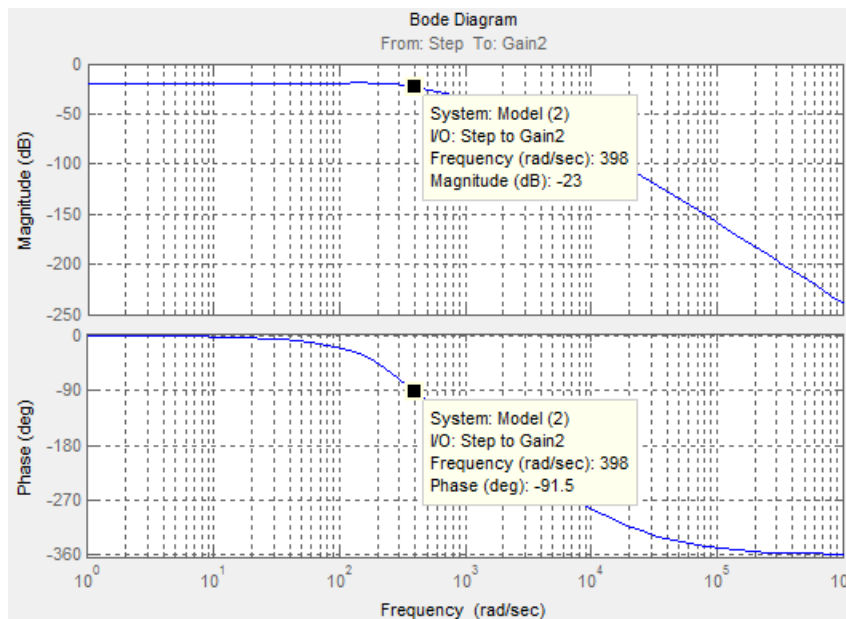
мұнда $T_{\mu\psi \Delta} = T_T + T_{\mu\psi 0} = 0.0007917 + 0,002 = 0.0027917, c$ - оңтайлы контурдың эквивалентті аз уақыт тұрақтысы.



2 сурет – MATLAB Simulink бағдарламасындағы ағын ілінісі онтурының имитациялқ моделі



3 сурет – $U_{3\psi}=10$ В кезіндегі ағын ілінісі контурының өтпелі процессі



4 сурет - Симметриялы оңтайландыруға сәйкестендірілген ағын ілінісінің тұйықталған контурының логарифимді жиілікті мінездемесі

1 кесте – Ағын ілінісі контурының жұмыс көрсеткіші

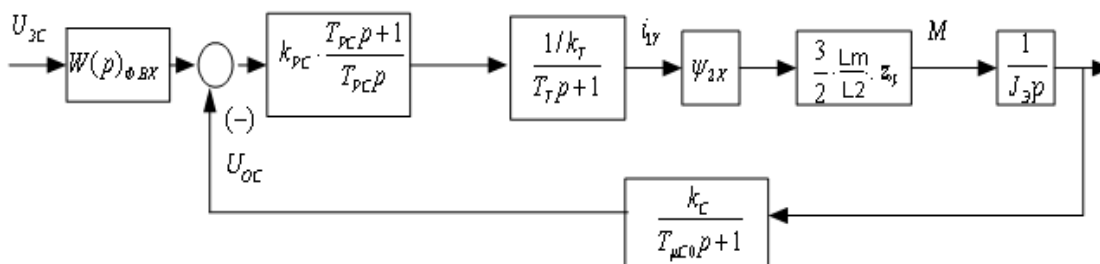
Өтпелі процесс көрсеткіші. Басқару бойынша			
$t_{py1}^{(5)}$	$t_{py2}^{(5)}$	$\sigma, \%$	$\Delta\psi_{VCT}, Bб$
Қажетті көрсеткіштер			
0.011 ÷ 0.0076	0,02	(4.3 ÷ 6.7)	0
Модельдеу қортындысы			
0,0079	0,018	7.18	0

Мұнда
$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\phi)} = \frac{(0.71 - 0.9)}{T_T + T_{\mu\psi 0}} = \frac{0,9}{0,0007917 + 0,002} = 322,338 \text{ рад/с};$$

мінездемеден көретініміз $\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\phi)} = 398 \text{ рад/с}; [11,12]$

Жылдамдық тізбегінің моделдеуі және зерттеуі.

Инерциялық кері байланысы және ПИ – реттегіші бар жылдамдық контурының құрылымдық схемасы 1-суретте көрсетілген.



5 сурет – Жылдамдық контурының ПИ – реттегішімен құрылымдық сұлбасы

ПИ – реттегішімен беріліс функциясы

$$W(p)_{PC} = k_{PC} \cdot \frac{T_{PC} \cdot p + 1}{T_{PC} \cdot p} = 855,453 \cdot \frac{0,011 \cdot p + 1}{0,011 \cdot p} \quad (1.6)$$

Жылдамдық реттегішінің пайдасы мен уақыт тұрақтысы өрнектермен анықталады.

$$k_{PC} = \frac{J_{\Sigma} \cdot k_T}{\psi_{2X} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{Lm}{L_2} \cdot z_p \cdot k_C} \cdot \frac{1}{a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0})} =$$

$$= \frac{38,5 \cdot 0,009356}{1,082 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,009568}{0,0098} \cdot 2 \cdot 0,024} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0,0027)} = 855,453, \quad (1.7)$$

мұнда $T_{PC} = b_C \cdot a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,0007917 + 0,002) = 0,011, c$ - оңтайландырылған контурдың эквивалентті аз уақыт тұрақтысы [6,8].

Осылайша конфигурацияланған ПИ-реттегіші бар жылдамдық тізбегінде келесі беріліс функциялары бар:

- тұйықталмаған жүйе тізбегі

$$W(p)_{PA3.C} = \frac{a_C \cdot b_C \cdot (T_{\mu C3} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^4 \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C3}^4 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^3 \cdot T_{\mu C3}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C3} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{2 \cdot 2 \cdot (0,00292 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^4 \cdot 0,0007917 \cdot 0,002 \cdot 0,002792^4 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^3 \cdot 0,002792^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,002792^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,002792 \cdot p + 1} \quad (1.8)$$

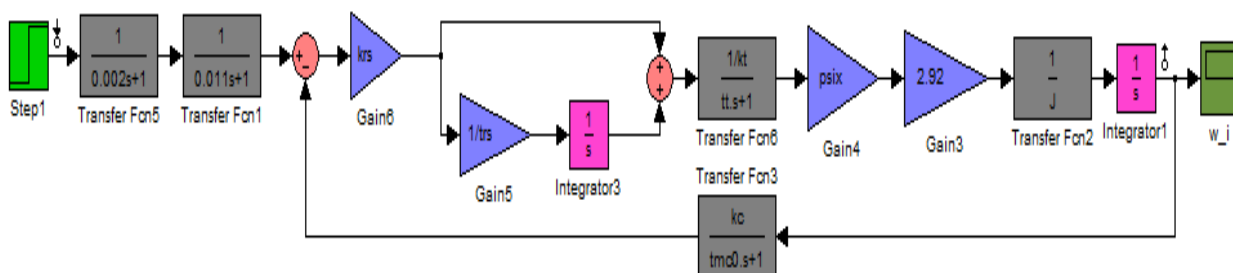
- басқару бойынша тұйықталған контурда

$$W(p)_{PA3.C} = \frac{1}{k_C} \cdot \frac{a_C \cdot b_C \cdot (T_{\mu C3} \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu C0} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C3} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{1}{0,071} \cdot \frac{2 \cdot 2 \cdot (0,00292 \cdot p + 1) \cdot (0,002 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,0007917 \cdot 0,002 \cdot 0,002792^4 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,002792^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,002792^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,002792 \cdot p + 1} \quad (1.9)$$

мұнда $T_{\mu C3} = T_T + T_{\mu C0} = 0,0007917 + 0,002 = 0,002792, c$ - эквивалентті аз уақыт тұрақтысы.

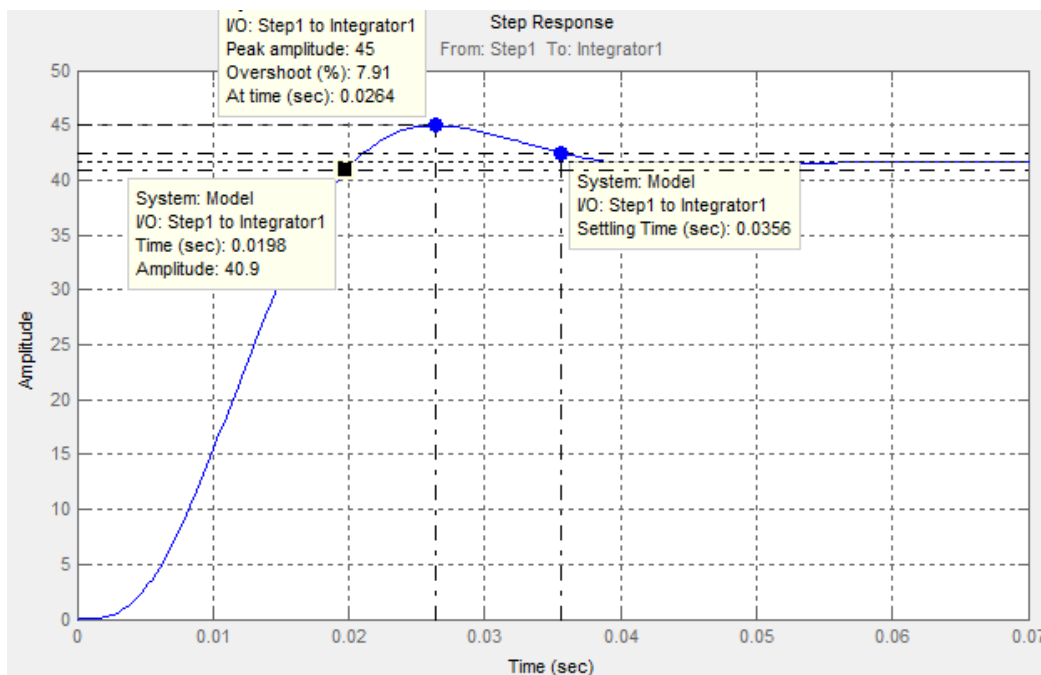
Сатылы басқару әсерлерін пысықтау кезінде оңтайландырылған контур жалпы жағдайда 43% астам қайта реттеу кезінде жоғары жылдамдықты қамтамасыз етеді. Кіре берістегі сүзгілерсіз контурды орнату СО-ға жақын.



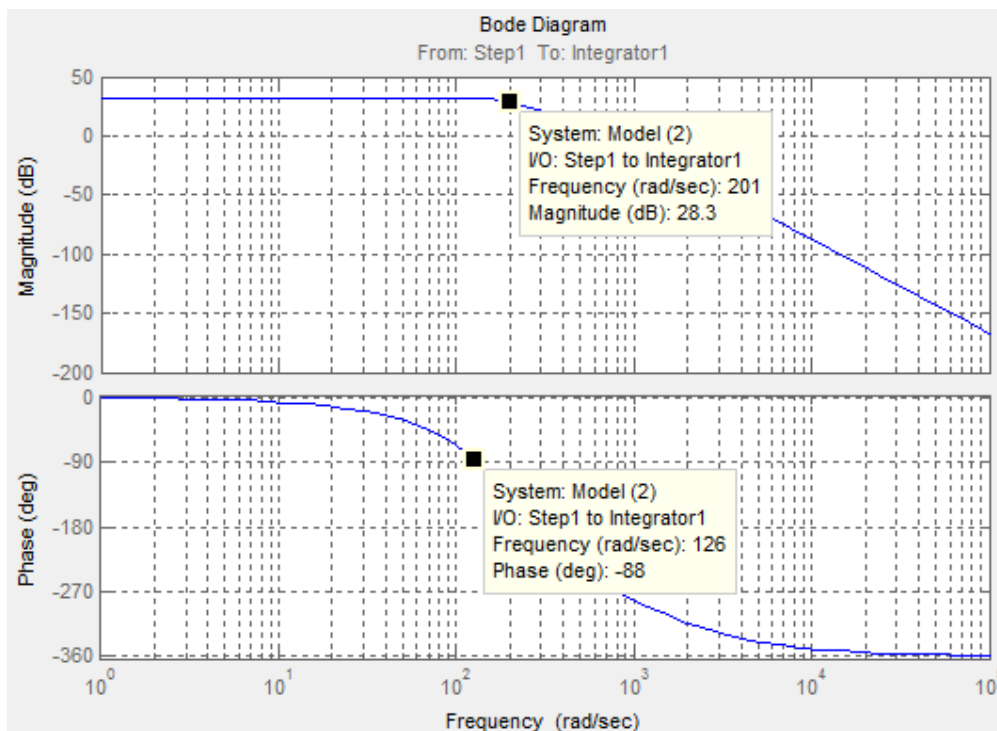
7 сурет – Кіріс сүзгілері бар жылдамдық контурының имитациялық моделі MATLAB Simulink бағдарламасы

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{T_T + T_{\mu C0}} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{0,007917 + 0,002} = 181.1 \text{ рад/с}; \quad (1.10)$$

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_T + T_{\mu C0}} = \frac{(0,36 \div 0,42)}{0,007917 + 0,002} = 133.3 \text{ рад/с}; \quad (1.11)$$



8 сурет– Жылдамдық тізбегіндегі өтпелі процесс $U_{3C}=10 \text{ В}$



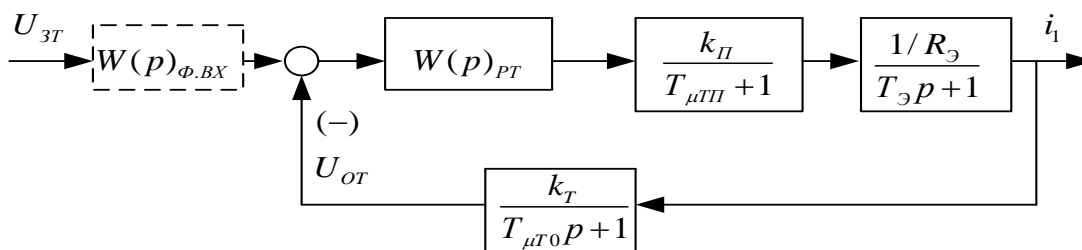
9 сурет – Симметриялық оңтайлы күйге келтірілген жылдамдықтың тұйық контурының логарифмдік жиілік сипаттамалары

2 кесте – Жылдамдық контурының көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Қарастырылған мәндер	Алынған мәндер
$\sigma, \%$	8,1 ÷ 10	7,9
$t_{py1}^{(5)}, c$	0,014 ÷ 0,011	0,019
$t_{py2}^{(5)}, c$	0,023 ÷ 0,019	0,035
$\Delta\omega_{уст}, рад/c$	0	0
$\omega_{II}^{(M)}, рад/c$	181,1	207
$\omega_{II}^{(\Phi)}, рад/c$	133,3	130

Ток контурын моделін құру және зерттеу.

Инерциялы кері байланыс бойынша ток контурының құрылымдық сұлбасы келесі (10 сурет) көрсетілген.



10 сурет – Ток контурының құрылымдық сұлбасы

Орнату ток тізбегі үшін жүзеге асырылады i_{sx} (контурда оң кері байланыс түрінде қосымша құрамдас бөлік бар) [4,9,10]

Жиілікті-реттегіш электржетек мінездемесінің ерекшелігі кері байланыс реттеу контур тізбегінде салыстырмалы түрде үлкен инерция болады. Статордағы үздіксіз ток мәнінің есептелуі кезіндегі кешігі уақытының Характерной особенностью инерциальной системы является то, что инерция контура в этом отношении оказывается весьма значительной. В.А. Котельников теоремасынан көруге болады. Келесі шарт орындалғанд жағдайдың төмендеуі байқалмайды:

$$k_K \cdot f_H \leq f_{TO}, \quad (1.12)$$

мұнда f_H – кернеу инвертордағы тасымалдау жиілігі;

f_{TO} – статор тогының лездік мәні бойынша есептелеін жиілік;

$k_K \geq 2$ – коэффициент.

Статор тогының лездік мәнінің есептелуімен кешігу уақытының минималдығы:

$$T_{TO} \geq \frac{1}{f_{TO}} = \frac{1}{k_K \cdot f_H}. \quad (1.13)$$

Жоғары тасымалдау жиілігі f_H инвертор қозғалтқыш статорының синусоидалы тогына жақындауы. Бұл инвертордың жұмыс істеу жиілігін ондаған килогерцке дейін арттыратын себептердің бірі Алайда, тасымалдаушы жиіліктің шамадан тыс артуы инвертор кілттеріндегі коммутациялық шығындардың көбеюіне әкеледі. Көтергіш жиіліктің оңтайлы мәні инвертор кілттеріндегі коммутациялық шығындар кезінде статор тогының синусоидальды мәніне жақын болуын қамтамасыз етуі тиіс [12].

Тасымалдаушы жиіліктің мәнін қабылдаймыз $f_H=8000$ Гц және $k_K=2$.
Содан кейін статор тогын есептеу кезеңі:

$$T_{\text{ТО}} \geq \frac{1}{f_{\text{ТО}}} = \frac{1}{k_K \cdot f_H} = \frac{1}{2 \cdot 8000} \geq 0,0000625 \text{ с.} \quad (1.14)$$

Мұнда U_{3T} - берілу кернеуі ток бойынша;

$T_{\mu\text{ПП}}$ - тікелей каналының аз уақыт тұрақтысы, с;

$T_{\mu\text{ПП}} = T_u = 0,0000625 \text{ с}$;

$T_{\mu\text{Т0}}$ - кері байланыс тізбектің уақыт тұрақтысы аз, с.

ПИ реттегіш тогының беріліс функциясы

$$\omega_{PT}(p) = k_{PT} \cdot \frac{T_{PT} \cdot p + 1}{T_{PT} \cdot p} = 1,834 \cdot \frac{0,019 \cdot p + 1}{0,019 \cdot p}. \quad (1.15)$$

Реттегіш тогының күштік коэффициенті

$$k_{PT} = \frac{T_{\text{Э}} \cdot R_{\text{Э}}}{k_H \cdot k_T \cdot a_T \cdot (T_{\mu\text{ПП}} + T_{\mu\text{Т0}})} = \frac{0,019 \cdot 0,024}{33,231 \cdot 0,009356 \cdot 2 \cdot (6,25 \cdot 10^{-5} + 0,000333)} = 1,834, \quad (1.16)$$

мұнда $k_T = \frac{U_{3T\text{MAX}}}{I_{1\text{умакс}}} = \frac{10}{1068} = 0,009356, B/A$; $U_{3T\text{MAX}} = 10B$;

$a_T = 2$ - оңтайлау коэффициенті;

$T_{PT} = T_{\text{Э}} = 0,384 \text{ с}$; - реттегіш тогының уақыт тұрақтысы.

Ток контурының беріліс функциясы келесідей:

- түйықталмаған жүйе үшін

$$W(p)_{\text{РАЗ.Т}} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu\text{ПП}} \cdot T_{\mu\text{Т0}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 0,0000625 \cdot 0,000333 \cdot 0,0003958 \cdot p^3 + 2 \cdot 0,00003958^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00003958 \cdot p^2}; \quad (1.17)$$

- түйықталған жүйе үшін

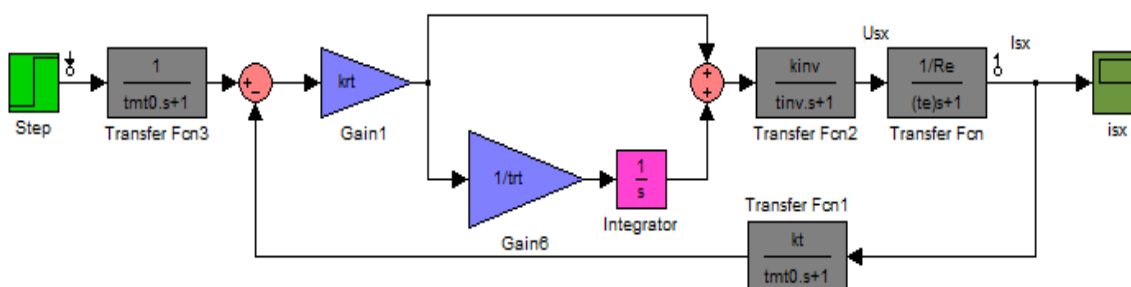
$$W(p)_{\text{ЗАМ.Т}} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{Т0}} + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{ПП}} \cdot T_{\mu\text{Т0}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{Т0}} + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{1}{0,009356} \cdot (0,000333 + 1);$$

$$\approx \frac{1}{2 \cdot 0,00003958^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00003958 \cdot p^2 + 1}; \quad (1.18)$$

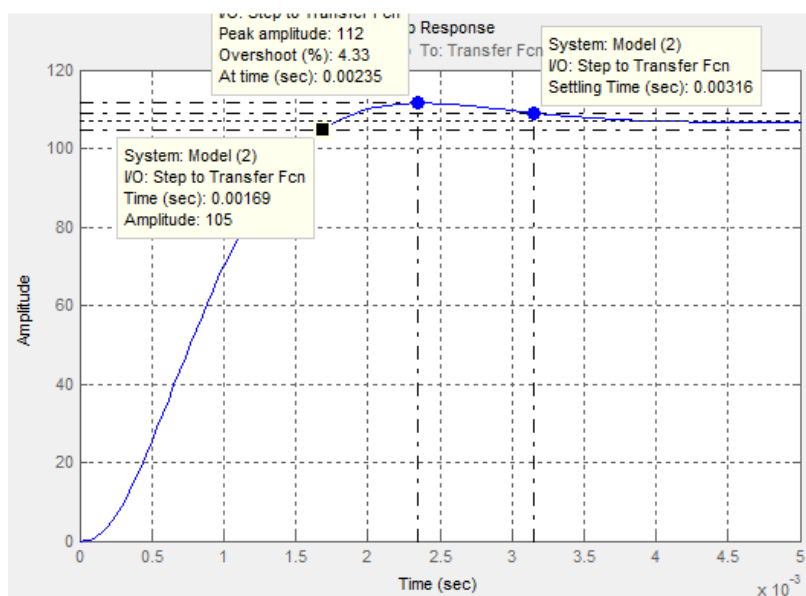
мұнда $T_{\mu\text{ТЭ}} = T_{\mu\text{ПП}} + T_{\mu\text{Т0}} = 0,0000625 + 0,000333 = 0,0003958, \text{ с}$ - оңтайлау контурының эквивалентті уақыт тұрақтысы.

Тізбек орындалуы оңтайлау модульне (ОМ) жақын 2-ші ретті жүйе. Басқару бойынша 1-ші ретті астатикалық жүйе контуры [11].



11 сурет – контур тогының i_{SX} имитациялық моделі MATLAB Simulink бағдарламасы бойынша сұлба

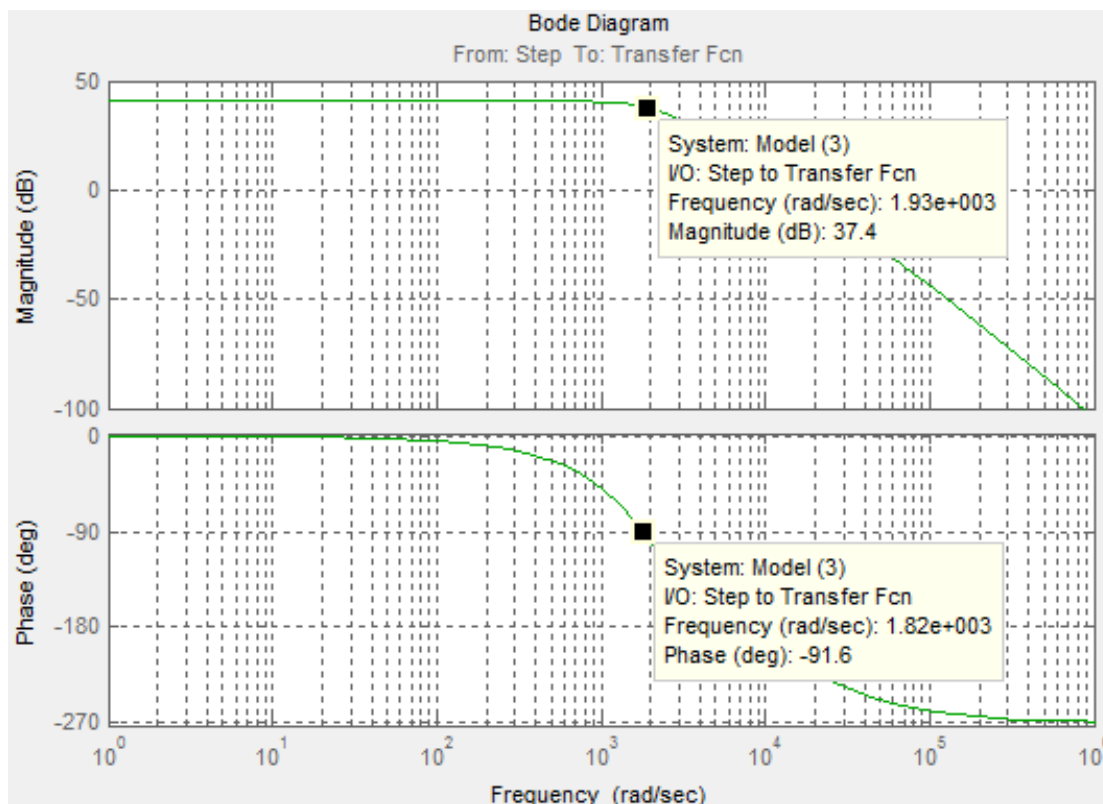
Сатылы кіріс әсерін өңдеу кезінде модульдік оңтайлы күйге келтірілген ток тізбегіндегі өтпелі процестерді модельдеу нәтижелері $U_{3T} = 10\text{В}$ өтпелі сипаттама түрінде берілген $i(t)$, (3 сурет).



12 сурет – $U_{3T}=10\text{ В}$ ток контуры кезіндегі өтпелі процессі

3 кесте – Ток контурының жұмыс көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Тосылған мәндер	Алынған мәндер
$\sigma, \%$	4,3	$4,33(i_{SX}) - 4,39(i_{SY})$
$t_{py1}^{(5)}, \text{ c}$	0.001623	0,0017
$t_{py2}^{(5)}, \text{ c}$	0.001623	0,0031
$\Delta I_{ycm}, A$	0	0
$\omega_{II}^{(M)}, \text{ рад/с}$	1794	1930
$\omega_{II}^{(\Phi)}, \text{ рад/с}$	1794	1820



13 сурет – Модульдік оңтайлы күйге келтірілген тұйық ток тізбегінің логарифмдік жиілік сипаттамалары

Талқылау.

Алынған модельдеу нәтижелерін талдау біршама ерекшеленетінін көрсетеді. Бұл жағдай кері байланыс бойынша инерцияның бар екендігін түсіндіреді.

Алынған модельдеу нәтижелерін талдау олардың күтілгеннен аздап ерекшеленетінін көрсетеді. Бұл факт жылдамдық контурының дұрыс конфигурациясын көрсетеді.

Алынған модельдеу нәтижелерін талдау олардың күтілгеннен аздап ерекшеленетінін көрсетеді. Бұл факт ток тізбектерінің дұрыс конфигурациясын көрсетеді. Контурларды модельдеу қортындысы i_{SX} және i_{SY} айырмашылықтары минималды, өтпелі процестер сапасының негізгі көрсеткіштері іс жүзінде бірдей, демек, модульдік оңтайлы ток тізбегіне реттелген реттегіштердің параметрлері i_{SX} ағымдағы тізбекте өзгеріссіз пайдалануға болады i_{SY} [5,8].

Қорытынды.

Заманауи электр жетектерінің параметрлері кез келген жетек параметріне жедел қол жеткізуге мүмкіндік беретін заманауи бағдарламалық жасақтама пакеттерімен қамтамасыз етіледі, сонымен қатар реттеу жүйесінің баптау сапасын бағалау үшін өтпелі процестердің осциллограммаларын сандық түрде алуға мүмкіндік береді.

Жұмыста зерттеу процесінде алынған тиісті өтпелі процестер мен олардың жиілік сипаттамаларына егжей-тегжейлі талдау жасалды, нәтижесінде жүйенің динамикалық қайта реттелуі кезінде жоғары жылдамдықты қамтамасыз ететін оңтайландырылған цикл ең ұтымды және экономикалық тиімді болып табылады. Жұмыста қарастырылған және есептеулер үшін ұсынылған әдіс реттеудің оңтайлы заңдарын іздеуге мүмкіндік береді [2,4].

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. Государственное Энергетическое издание. - Москва, 2019. – 772с.
- [2] Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
- [3] Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. - М., «Энергия», 2013. – 240 с.
- [4] Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2016. – 144 с.
- [5] Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока, Часть 1 – Асинхронный двигатель. - Томск, 2005 г. – 136 с. (33-37 с.) и (53-58с.).
- [6] Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 448 с.
- [7] А. А. Емельянов, В. В. Бесклеткин, А. П. Устинов Название Статьи: Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя с ШИМ в пакете SimPowerSystems. Журнал: Молодой ученый. — 2016. — № 17 (121). — С. 4-11. — URL.
- [8] Г. Г. Сколовский. М. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений: Издательский центр «Академия», 2006. - 272 с.
- [9] В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер, Энергоэффективные режимы работы регулируемых электроприводов переменного тока: монография. - Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-технический университет», 2012. - 222 с.
- [10] Плотников Ю.В., Виноградов С.А. О методике настройки векторных систем автоматического управления для серийных преобразователей частоты. Конференция молодых ученых – 2016 УралЭНИИ, ФГАОУ ВПО «УрФУ» УДК 621.314.263.
- [11] В. Л. Федяев, В. С. Гун, А. А. Бакин, Н. Ю. Сидоренко., Математическая модель системы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с целью увеличения его ресурса//сборник статей. — Екатеринбург: НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН; УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2018. — С. 173-182.
- [12] Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. - Екатеринбург: УРО РАН, 2000.

REFERENCES*

- [1] Andreev V.P., Sabinin Ju.A. Osnovy jelektroprivoda. Gosudarstvennoe Jenergeticheskoe izdanie. - Moskva, 2019. – 772s.
- [2] Udut L. S., Mal'ceva O.P., Kojain N.V. Proektirovanie i issledovanie jelektroprivodov. Chast' 1. – Vvedenie v tehniku regulirovanija linejnyh sistem. Chast' 2. – Optimizacija kontura regulirovanija: Uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd. TPU, 2000. – 144 s.
- [3] Onishhenko G.B., Jun'kov M.G. Jelektroprivod turbomehanizmov. - M., «Jenergija», 2013. – 240 s.

[4] Udut L. S., Mal'ceva O.P., Kojain N.V. Proektirovanie i issledovanie jelektroprivodov. Chast' 1. – Vvedenie v tehniku regulirovaniya lineynyh sistem. Chast' 2. – Optimizacija kontura regulirovaniya: Uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd. TPU, 2016. – 144 s.

[5] Chernyshev A.Ju., Chernyshev I.A. Raschet harakteristik jelektroprivodov peremennogo toka, Chast' 1 – Asinhronnyj dvigatel'. - Tomsk, 2005 g. – 136 s. (33-37 s.) i (53-58s.).

[6] Udut L.S., Mal'ceva O.P. Proektirovanie i issledovanie avtomatizirovannyh jelektroprivodov. Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij universitet. – Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. – 448 s.

[7] A. A. Emel'janov, V. V. Beskletkin, A. P. Ustinov Nazvanie Stat'i: Modelirovanie prjamoego puska asinhronnogo dvigatelja s ShIM v pakete SimPowerSystems. Zhurnal: Molodoj uchenyj. — 2016. — № 17 (121). — S. 4-11. — URL.

[8] G. G. Skolovskij. M. Jelektroprivody peremennogo toka s chastotnym regulirovanijem: uchebnik dlja stud. vyssh. uceb. zavedenij: Izdatel'skij centr «Akademija», 2006. - 272 s.

[9] V.N. Poljakov, R.T. Shrejner, Jenergojeffektivnye rezhimy raboty reguliruemyh jelektroprivodov peremennogo toka: monografija. - Ekaterinburg: FGAOU VPO «Rossijskij gosudarstvennyj professional'no-tehnicheskij universitet», 2012. - 222 s.

[10] Plotnikov Ju.V., Vinogradov S.A. O metodike nastrojki vektornyh sistem avtomaticheskogo upravlenija dlja serijnyh preobrazovatelej chastoty. Konferencija molodyh uchenyh – 2016 UralJeNIN, FGAOU VPO «UrFU» UDK 621.314.263.

[11] V. L. Fedjaev, V. S. Gun, A. A. Bakin, N. Ju. Sidorenko., Matematicheskaja model' sistemy regulirovaniya chastoty vrashhenija asinhronnogo dvigatelja s cel'ju uvelichenija ego resursa//sbornik statej. — Ekaterinburg: NIC «NiR BSM» UrO RAN; UrFU im. pervogo Prezidenta Rossii B. N. El'cina, 2018. — S. 173-182.

[12] Shrejner R. T. Matematicheskoe modelirovanie jelektroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovateljami chastoty. - Ekaterinburg: URO RAN, 2000.

Elmira Darkenbaeva, doctoral student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, e.darkenbaeva@aues.kz

Gani Balbaev, PhD, associate professor, Academy of logistics and transport, Almaty, Kazakhstan, g.balbajev@alt.edu.kz

OPTIMIZATION OF COMPONENTS OF THE TRACTION ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEM

Abstract. This article presents the results of mathematical modeling of the components included in the control system of a traction asynchronous electric drive with a linearized continuous ACS of a frequency-controlled two-zone asynchronous electric drive with vector control. In the asynchronous electric drive system, the control efficiency is associated with the maximum possible and necessary adjustment to the optimum of the current control circuits, flow coupling and speed for the stability of its operating modes, as well as the expansion of functionality. The transfer functions are respectively presented for open and closed circuits. The study of simulation models was carried out using the MATLAB Simulink program, which allow us to study both transients in the corresponding circuits and their logarithmic frequency characteristics, on the basis of which the influence of indicators is analyzed. The results obtained have minimal differences between the expected calculated indicators and those obtained as a result of the conducted studies.

Keywords. Asynchronous electric motor, mathematical model, dynamic process, optimization, control system, current loop, flow coupling loop, speed loop.

Эльмира Даркенбаева, докторант, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Дукеева, Алматы, Казахстан, e.darkenbaeva@aues.kz

Гани Балбаев, PhD, ассоциированный профессор, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан, g.balbayev@alt.edu.kz

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Аннотация. В данной статье представлены результаты математического моделирования компонентов входящих в систему управления тягового асинхронного электропривода с линеаризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого двухзонного асинхронного электропривода м векторным управлением. В системе асинхронного электропривода эффективность управления взаимосвязана с максимально возможной и необходимой настройкой на оптимум контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости для устойчивости его режимов работы, а так же расширения функциональных возможностей. Передаточные функции соответственно представлены для разомкнутых и замкнутых контуров. Исследование имитационных моделей проведены с использованием программы MATLAB Simulink, которые позволяют исследовать как переходные процессы в соответствующих контурах так и их логарифмические частотные характеристики, на основе которых проводится анализ влияния показателей. Полученные результаты имеют минимальные различия между ожидаемыми расчетными показателями и полученными в результате проведенных исследований.

Ключевые слова. Асинхронный электродвигатель, математическая модель, динамический процесс, оптимизация, система управления, контур тока, контур потокосцепления, контур скорости.
