

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

АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ТІКЕЛЕЙ ҚОСЫЛУЫН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ӨТПЕЛІ ПРОЦЕССІНЕ ТАЛДАУ ЖҮРГІЗУ

Аңдатпа. Бұл мақалада асинхронды қозғалтқыштың математикалық модельдеудің нәтижелері және оның динамикалық процестері келтірілген, сонымен қатар Simulink бағдарламасын қолданып, имитациялық динамикалық процестерді модельдеу қарастырылған. Асинхронды электр жетегінің жүйесінде жылдамдықты басқарудың тиімділігі қозғалтқыштың жұмыс режимдерінің тұрақтылығының кіші диапазонымен шектеледі, оның функционалдығын техникалық талаптарға байланысты әртүрлі кері байланыстарын пайдаланып атап айтқанда жылдамдық, кернеу және статор тогын қолдана отырып кеңейтуге болады. Мақалада келтірілген математикалық және имитациялық модельдер өтпелі процестерді зерттеуге мүмкіндік береді, соның негізінде жүктеменің динамикалық көрсеткіштер әсеріне талдау жүргізіледі. Алынған статистикалық және динамикалық сипаттамалардың нәтижелері жүргізілген есептеулердің дұрыстығын, электр жетегі жүйесінің дұрыс анықталған параметрлерін және асинхронды қозғалтқыштың статор жылдамдығының, моментінің және тогының өтпелі процестерін ескере отырып, оны одан әрі оңтайландырудың функционалды мүмкіндігін растайды.

Түйінді сөздер. Асинхронды электр қозғалтқышы, математикалық модель, динамикалық процесс, оңтайландыру, басқару тізбегі, ток, момент, қуат, модельдеу моделі, координаттар жүйесі, тұрақты динамикалық байланыс, іске қосу.

Өзектілік.

Асинхронды электр қозғалтқышын математикалық модельдеу мәселесі әдіснамалық тұрғыдан да, шешімдерді модельдеудің шығармашылық процедураларын тиімді ақпараттық қамтамасыз етуді дамыту тұрғысынан да ең күрделі және аз зерттелген мәселелердің бірі болып қала береді. Сондықтан математикалық модельдеудің негізін құрайтын құрылымдық синтез мәселелерін шешудің жаңа тәсілдерін іздеу және дамыту қазіргі заманғы ең өзекті бағыттардың бірі ретінде қарастырылуы керек .

Кіріспе.

Асинхронды қозғалтқыш жалпыланған машинаның моделі негізінде теңдеулермен сипатталған, ол өз кезегінде келесі жалпы қабылданған болжамдармен нақты машинаның жеңілдетілген моделі болып табылады, атап айтқанда, машина ауа саңылауы бойымен магнит қозғаушы күш пен магнит ағынының синусоидальды таралуын қамтамасыз ететін идеалды орамалары бар симметриялы; магниттік тізбектің қанықтылығының әсері ескерілмейді, бұл индуктивтіліктің тұрақты мәндерін қабылдауға мүмкіндік береді; статор болатындағы энергия шығыны ескерілмейді; нөлдік тізбектегі токтар және кернеулер жоқ деп болжанады.

Заманауи техникалық шешімдерді қолдана отырып, асинхронды электр қозғалтқышының іске қосу режимдерін зерттеу және талдау.

Материалдар мен тәсілдер.

Жұмыста асинхронды қозғалтқышты және оның динамикалық процестерін математикалық модельдеу әдістерін, сонымен қатар Simulink бағдарламалық ортасын қолдана отырып, модельдеу, физиканың негізгі заңдылықтарын қолдана отырып математикалық сипаттама және нәтижелерді талдау қолданылады.

Жалпыланған асинхронды машинада үш фазалы статор орамасы және ротордағы үш фазалы орам бар. Статор мен ротор орамалары симметриялы үш фазалы кернеу көздеріне қосылған. Мұндай машинаның математикалық сипаттамасы белгілі заңдарға негізделген [1,2,3].

Векторлық басқару кезінде магнит ағыны келесі жағдайды ұстап тұрады:

- бірінші аймақта тұрақты $\psi_{2X} = \psi_{2XH} = const$;
- екінші аймақта осы теңдікке сәйкес әлсірейді $\psi_{2X} = \psi_{2XH} \cdot \frac{\omega}{\omega_H}$ [2].

Қозғалтқыштың табиғи механикалық мінездемесін есептейміз:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \cdot [(R_1 + \frac{R'_2}{\omega - \omega_0})^2 + x_{кН}^2]} \quad (1.1)$$

Келесі жағдайда табиғи электромеханикалық мінездемесін есептейміз:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_2(\omega)}, \quad (1.2)$$

мұнда $I_2'(\omega)$ - сырғанауға қатысты ротор тогының келтірілген мәні

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R'_2}{\omega - \omega_0})^2 + (x_{1H} + x'_{2H})^2}} ; \quad (1.3)$$

$$\sin \varphi_2(\omega) = \frac{X_{кН}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R'_2}{\omega - \omega_0})^2 + X_{кН}^2}} \quad (1.4)$$

Жоғарыда келтірілген өрнек бойынша 1 – суреттегі және 2- суреттегі табиғи механикалық және электромеханикалық мінездемелер келтірілген.

2 кесте - $M_{\text{қоз.макс}}(\omega)$ есептелудің қортындысы

ω , рад/с	0	$\Omega_{\text{қоз.н}}=154$	$\Omega_{\text{ЭЖ.РЕК}}=287$	$\Omega_{\text{ЭЖ.МАКС}}=419$
$M_{\text{қоз.макс}}$, Н	3258	3023	1630	1117

3 кесте – $I_{\text{қоз.қос}}(\omega)$ есептелудің тәуелділігі

ω , рад/с	0	$\omega_{\text{ДВН}} = 154$	$\omega_{\text{ЭП.РЕК}} = 287$	$\omega_{\text{ЭП.МАКС}} = 419$
$I_{\text{қоз.қос}}(\omega)$, А	305	305	305	305

4 кесте - $M_{\text{қоз.макс}}(\omega)$ есептеу қортындысы

ω , рад/с	0	$\Omega_{\text{қоз.н}}=154$	$\Omega_{\text{ЭЖ.РЕК}}=287$	$\Omega_{\text{ЭЖ.МАКС}}=419$
$M_{\text{қоз.қос.макс}}$, Н·м	180	1163	627	429

$I_{\text{с.макс}}(\omega)$, $I_{\text{с.ор}}(\omega)$, $I_{\text{с.мин}}(\omega)$ 1-суретте және 2-суретте есептеліп және тәуелділігі тұрғызылды, жүктемеге қатысты $M_C(\omega) = \text{const}$. Осыған қатысты қажетті M_C анықталады, салыстырмалы s теңдікке қатысты есептеледі [2,5]:

$$\omega_0 \cdot s \cdot \frac{3 \cdot U_{\text{ФН}}^2 \cdot R_2'}{\left[(X_{\text{КН}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = M_C \cdot \quad (1.5)$$

5 кесте – $I_{\text{с.макс}}(\omega)$ есептеудің қортындысы

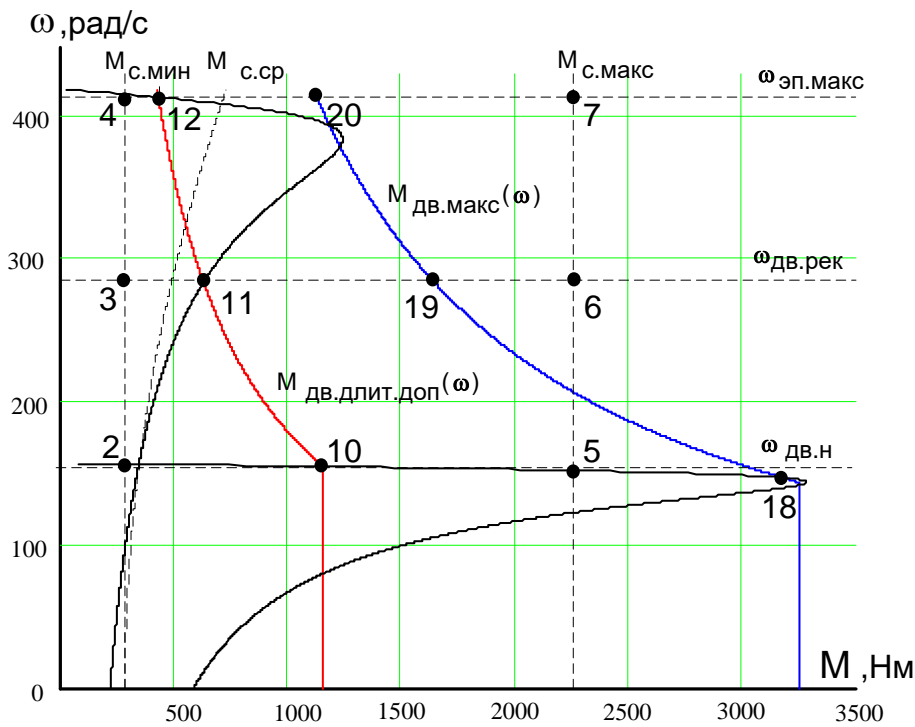
ω , рад/с	$\Omega_{\text{қоз.н}}=154$	$\Omega_{\text{ЭЖ.РЕК}}=287$	$\Omega_{\text{ЭЖ.МАКС}}=419$
$I_{\text{с.макс}}(\omega)$, А	582	1081	1580

6 кесте – $I_{\text{с.қос}}(\omega)$ есептеу қортындысы

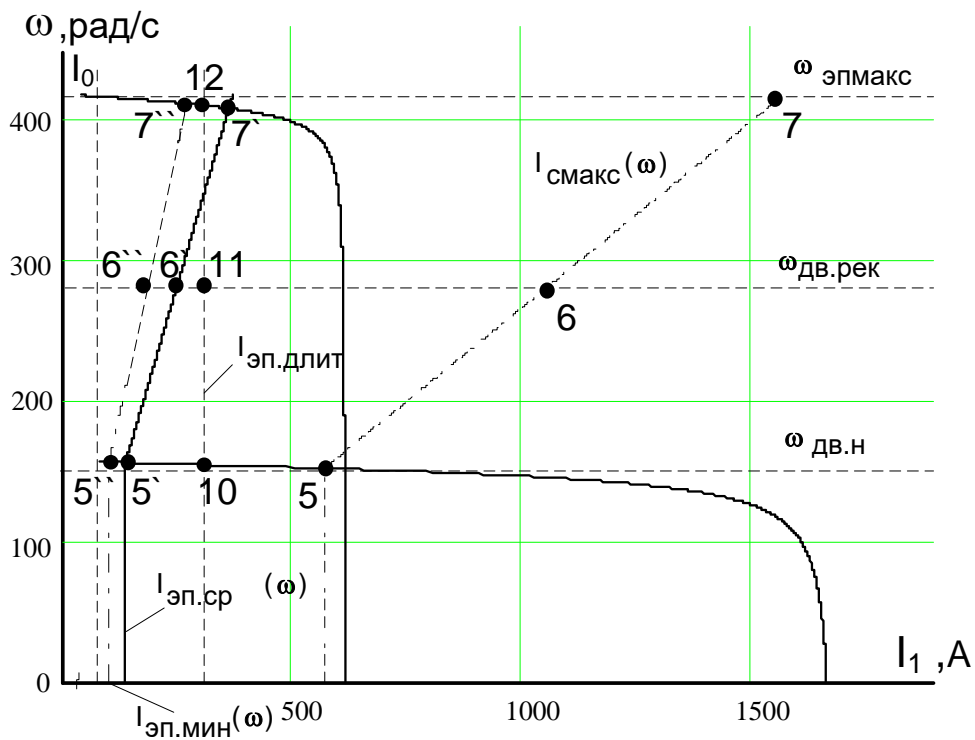
ω , рад/с	$\Omega_{\text{қоз.н}}=154$	$\Omega_{\text{ЭЖ.РЕК}}=287$	$\Omega_{\text{ЭЖ.МАКС}}=419$
$I_{\text{с.ор}}(\omega)$, А	103	256	373

7 кесте – $I_{\text{с.мин}}(\omega)$ есептеу қортындысы

ω , рад/с	$\omega_{\text{ДВН}} = 154$	$\omega_{\text{ЭП.РЕК}} = 287$	$\omega_{\text{ЭП.МАКС}} = 419$
$I_{\text{с.мин}}(\omega)$, А	139	190	277

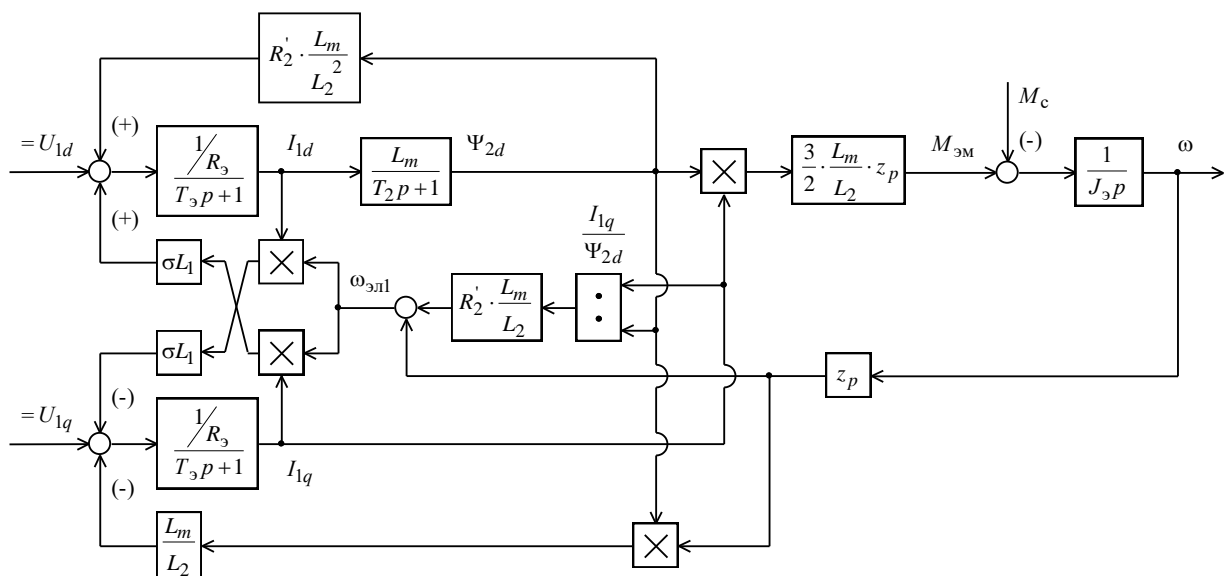


1 сурет - Векторлы басқару кезіндегі электржетектің механикалық мінездемесі және жүктемесі



2 сурет - Векторлы басқару кезіндегі электржетектің механикалық мінездемесі және жүктемесі

Асинхронды қозғалтқыштың динамикалық моделі 1-суретте көрсетілген айналмалы координаттар жүйесіндегі құрылымдық сұлбаларға сәйкес жасалады. Қозғалтқыштың тікелей іске қосылуын модельдеу электр жетегінің жүйесін реттеу және модельдеу тізбегін оңтайландыру үшін одан әрі пайдалану үшін электр қозғалтқышының параметрлерін есептеудің дұрыстығын дәлелдеу қажеттілігімен байланысты. Асинхронды қозғалтқышты модельдеу айнымалы токтардың, моменттердің, қуаттардың абсолютті мәндеріне сәйкес жүзеге асырылады [5,6].



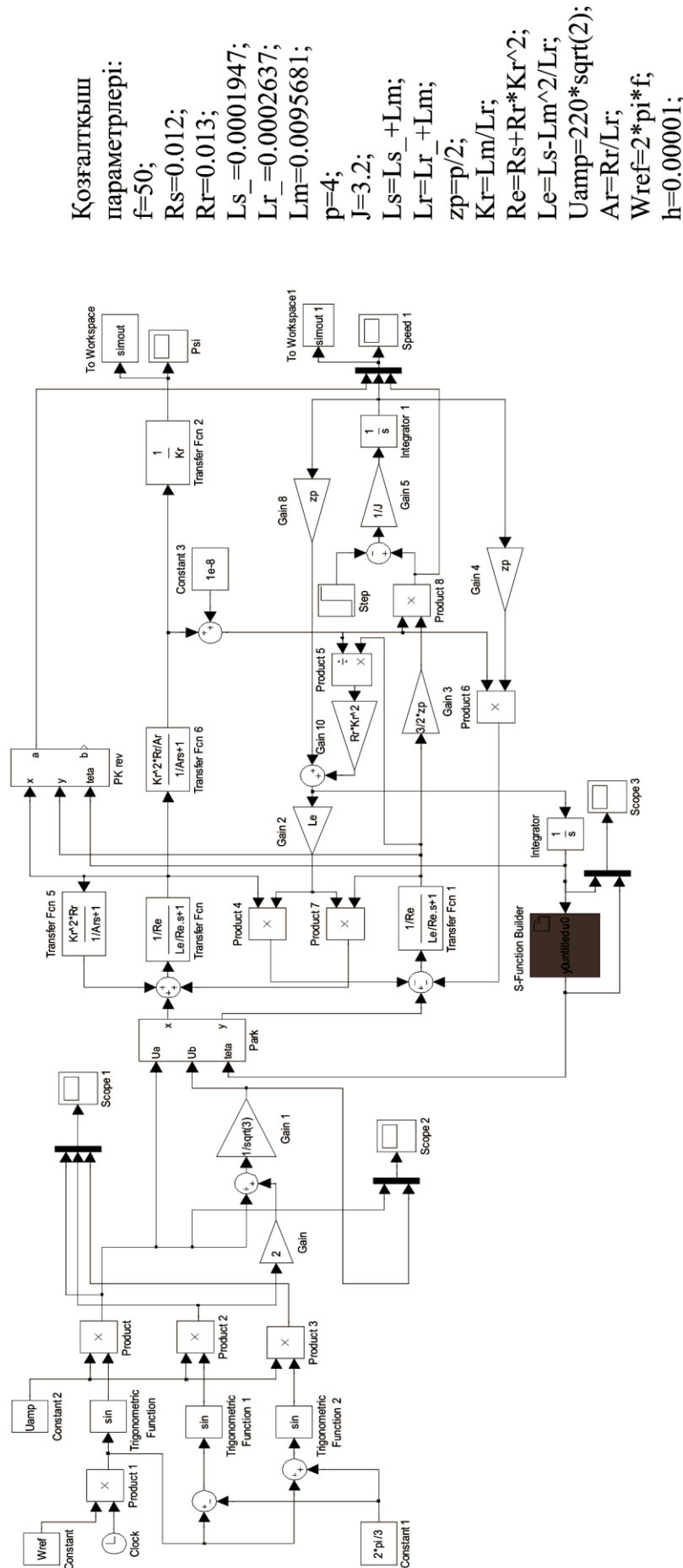
3 сурет – Айналмалы координаттар жүйесіндегі қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың динамикалық моделінің құрылымдық сұлбасы

Асинхронды қозғалтқыштағы динамикалық процестерді модельдеу Simulink бағдарламалық ортасындағы құрылымдық сұлбаға сәйкес жасалады.

Статор орамасының бұрыштық кернеу жиілігінің номиналды мәні:

$$\omega_{\sigma} = 2 \cdot \pi \cdot f_{1H} = 314,159 \text{ рад/с.} \quad (1.6)$$

Айналмалы координаттар жүйесіндегі құрылымдық схемаға сәйкес құрастырылған қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштың Имитациялық модельдерінің толық схемасы 2-суретте көрсетілген.

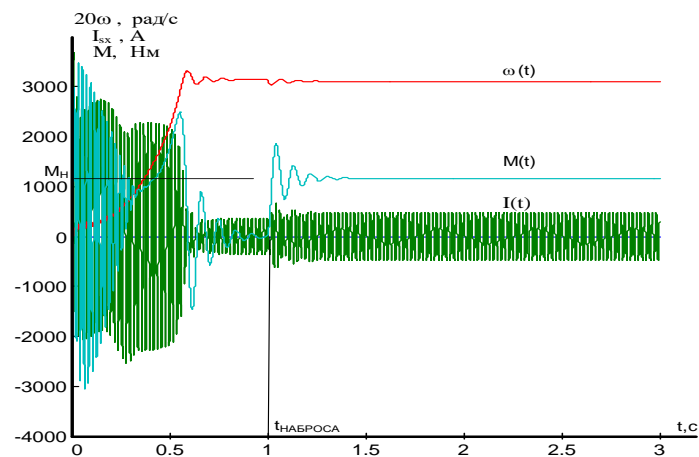


4 сурет – Айналмалы координаттар жүйесіндегі қысқа тұйықталған роторы бар индукциялық қозғалтқыштың имитациялық моделінің сұлбасы

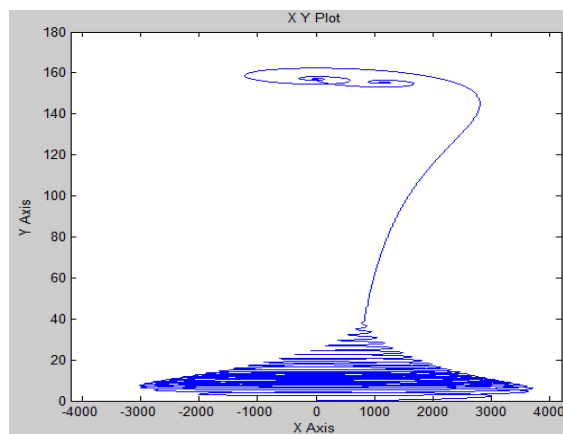
Нәтижелер.

Асинхронды қозғалтқыштың динамикалық механикалық сипаттамасын тек өтпелі есептеулердің нәтижелері бойынша алуға болатындықтан, алдымен қозғалтқышты желіге тікелей қосу арқылы іске қосқан кезде статор жылдамдығының, моментінің және тогының өтпелі кестелерін (сәйкесінше 5 және 6-суреттер) береміз.

Тікелей іске қосу кезінде асинхронды қозғалтқыштың динамикасын зерттеу үшін біз қозғалтқышты іске қосамыз, содан кейін $t=1c$ уақыт кезінде номиналды жүктеме түсіреміз $M_{н(паспорт)} = 1163 \text{ Н} \cdot \text{м}$.



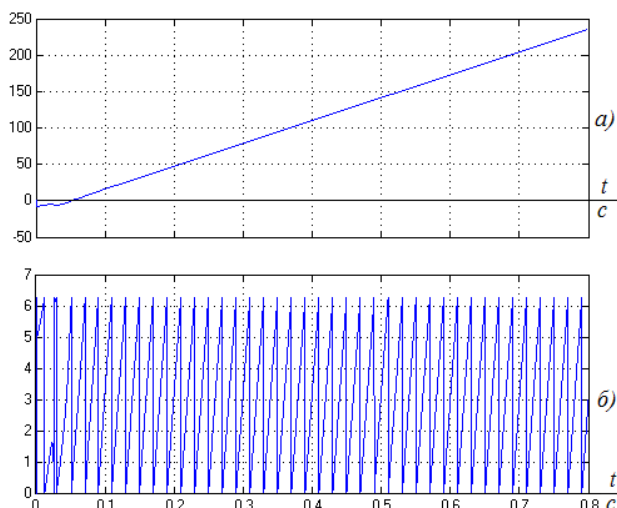
5 сурет - Қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқышты желіге тікелей қосу және жүктеменің кейінгі нобайы кезінде статор жылдамдығының, моментінің және тогының өтпелі процестері



6 сурет – Асинхронды қозғалтқыштың динамикалық механикалық сипаттамасы желіге тікелей қосылу және жүктеменің келесі түсуі

S-untitled блогының функциясы (бұрыштық интеграцияны деңгейде шектеу) – 5-сурет моделіндегі сұр блогы.

```
static float in1;  
in1=u0[0];  
while (in1>=6.28) in1=in1-6.28;  
while (in1<0) in1=in1+6.28;  
y0[0]=in1;
```



7 сурет - Бұрыштың өтпелі процестері θ :
а) интеграцияны шектеуге дейін;
б) 2π деңгейде интеграцияны шектегеннен кейін

Талқылау.

Асинхронды қозғалтқышты тікелей іске қосу кезіндегі өтпелі процестердің түрі электромагниттік момент қисығында тербелмелі компоненттің болуын көрсетеді, ол - 3000-нан +3800 Н•м-ге дейін өзгереді және қозғалтқыш үдеген сайын өшеді. Өтпелі кезеңдер қозғалтқыштың тұрақты динамикалық байланыс екенін дәлелдейді. Статикалық және динамикалық сипаттамаларды есептеу нәтижелері бойынша асинхронды қозғалтқышты ауыстыру сұлбасының параметрлері дұрыс таңдалған [6].

Қорытынды.

Асинхронды электр жетектерін зерттеу кезінде көп жағдайда айналмалы координаттар жүйесі қолданылады.

Модельдеу моделінің сұлбасы асинхронды қозғалтқыштың динамикалық сипаттамаларын зерттеуді қарапайым түрде жүргізуге мүмкіндік береді. Динамикалық сипаттама асинхронды қозғалтқыштың ауыстыру тізбегінің параметрлерімен ғана емес, сонымен қатар электр жетегінің параметрлерімен, мысалы, эквивалентті инерция моментімен, қозғалтқыш білігіндегі қарсылық моментімен де анықталатыны анықталды. Сондықтан белгілі бір желі параметрлері мен алмастыру схемасы бар асинхронды қозғалтқыш бір статикалық және көптеген динамикалық механикалық сипаттамаларға ие.

Динамикалық сипаттамаларды талдаудан көрініп тұрғандай, 5-суретте қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқышты іске қосудың өтпелі процесі тек бастапқы ғана емес, сонымен қатар соңғы бөлімде де тербелмелі сипатқа ие болуы мүмкін, ал қозғалтқыштың жылдамдығы синхрондыдан асады. Іс жүзінде өтпелі процестің соңғы бөлігінде бұрыштық жылдамдық пен қозғалтқыш моментінің ауытқуы әрдайым байқалмайды. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының жұмыс бөлімі неғұрлым жұмсақ және электр жетегінің эквивалентті инерция моменті неғұрлым көп болса, орнатылған жылдамдыққа жеткенде тербелістердің амплитудасы соғұрлым аз болады және олар соғұрлым тез сөнеді.

Динамикалық механикалық сипаттамаларды зерттеу теориялық және практикалық мәнге ие, өйткені тек статикалық механикалық сипаттамаларды есепке алу дұрыс емес тұжырымдарға және асинхронды қозғалтқышты іске қосу кезінде динамикалық жүктемелердің сипатын бұрмалауға әкелуі мүмкін.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Сагитов П.И. Энергосбережение в электроприводе. Учебное пособие. – Алматы, 2003. – 84 с.

[2] Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. Учебник для студентов высшего учебного заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.- стр. 184 – 186.

[3] Тимошкин В.В., Глазырин А.С., Глазырина Т.А. Синтез и настройка нейронных сетей для задач электропривода, аппроксиматор на основе нейронной сети //Современная техника и технологии: Сборник трудов XVI Международной научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск, 12 – 16 апреля 2010. – Томск: ТПУ, 2010. – стр. 480-482.

[4] 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.).

[5] Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 448 с.

[6] Емельянов А.А., Бесклеткин В.В., Устинов А.П. Название статьи: Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя с ШИМ в пакете SimPowerSystems. Журнал: Молодой ученый. — 2016. — № 17 (121). — С. 4-11. — URL.

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

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

DIRECT START SIMULATION ASYNCHRONOUS MOTOR AND ANALYSIS ITS TRANSIENTS

Annotation. This article presents the results of mathematical modeling of an asynchronous motor and its dynamic processes, as well as modeling of simulation dynamic processes using the Simulink software environment. In the asynchronous electric drive system, the efficiency of speed control is limited by a small range of stability of the motor operating modes, the functionality of which can be expanded by using various types of feedback, depending on the technical requirements, in particular in terms of speed, voltage and stator current. The mathematical and simulation models presented in the article allow us to study the transients, on the basis of which the analysis of the impact of the load on the dynamic indicators is carried out. The results of the obtained statistical and dynamic characteristics confirm the adequacy of the calculations made the correctly defined parameters of the electric drive system and the functional possibility of its subsequent optimization, taking into account the transients of the speed, torque and current of the stator of the asynchronous motor.

Keywords. Asynchronous electric motor, mathematical model, dynamic process, optimization, control scheme, current, torque, power, simulation model, coordinate system, stable dynamic dependence, start.

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

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АНАЛИЗ ЕГО ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. В данной статье приводятся результаты математического моделирования асинхронного двигателя и его динамических процессов, а так же моделирование имитационных динамических процессов с применением программной среды Simulink. В системе асинхронного электропривода эффективность регулирования скорости ограничена малым диапазоном устойчивости режимов работы двигателя, расширить функциональные возможности которого можно используя в зависимости от технических требований различные виды обратных связей, в частности по скорости, напряжению и по току статора. Представленные в статье математические и имитационные модели позволяют исследовать переходные процессы, на основании которых проводится анализ влияния нагрузки на динамические показатели. Результаты полученных статистических и динамических характеристик подтверждают адекватность произведенных расчетов, верно определенных параметров системы электропривода и функциональной возможностью ее последующей оптимизации с учетом переходных процессов скорости, момента и тока статора асинхронного двигателя.

Ключевые слова. Асинхронный электродвигатель, математическая модель, динамический процесс, оптимизация, схема управления, ток, момент, мощность, имитационная модель, система координат, устойчивая динамическая зависимость, пуск.
