

Matlab/simulink yordamida uch fazali asinxron motorning dinamik modeli

Maxsud K. Bobojanov^{1, a)}, Furkat N. Tuychiyev^{1*}, Nuralibek X. Rashidov¹

^{1, a)} DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; mbobojanov@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

^{1*} PhD, dots., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; tuychievfn@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-1031-3460>

¹ Doktorant, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; nuralibekrashidov@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-5003-6664>

Dolzarblik: Ishning dolzarbligi shundan iboratki dinamik modellar o'tkinchi va turg'un ishlash sharoitida asinxron motorning holatini yaxshiroq tushunish uchun ishlatiladi. dq o'q bo'yicha o'zgartirish nazariyasi motorning dinamikasini o'rganish uchun rotor sanoq tizimida qo'llaniladi. MATLAB/Simulink dasturining asosiy afzalligi shundaki, modellashtirilayotgan elektromexanik jarayonlar dasturning funksional bloklari yordamida oddiy va tezroq amalga oshirish mumkin. Uchta sinusoidal tokni boshqarish juda murakkab vazifadir, ammo uchta tokni nazorat qilishning hojati yo'qdir. Ushbu vazifani stator toklari uchun Klark (E.Clark) va Park (R.H.Park) o'zgartirishlari yordamida soddalashtirish mumkin. Birinchi bo'lib Klark o'zgartirish yordamida uch fazali tizimdan ikki fazali tizimga o'tkaziladi va shundan so'ng Park o'zgartirish yordamida rotor koordinatalari tizimiga o'tkazish amalga oshiriladi.

Maqsad: Matlab/Simulink dasturi yordamida uch fazali asinxron motorning dinamik holatini o'rganish va baholash uchun umumlashtirilgan modelni ishlab chiqish va tadqiq qilishdan iborat.

Usullar: Modelni ishlab chiqishda qo'zg'almas stator va qo'zg'aluvchan rotor o'rtasidagi barcha differensial kuchlanishlar, toklar va magnit oqimlari hisobga olingan.

Natijalar: Yuqorida aytib o'tilgan kuchlanishlar, toklar va magnit oqimlari hisobga olingan holda Park Clark transformatsiyasi amalga oshirilgan hamda dinamik xarakteristikalari olingan va tadqiq qilingan. Dastur yordamida quvvati 0,75 kVt, quvvat koeffitsienti $\cos\varphi=0,76$, foydali ish koeffitsienti $\eta=73\%$, nominal toki $I_1=2,05$ A bo'lgan 4 qutbli asinxron dvigatelni dinamik modellashtirish amalga oshirilgan. Ishlab chiqilgan model o'zgaruvchan stator qarshiligi, inersiya momenti va yuklama momentining ta'sirini o'rganish uchun ishlatiladi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, asinxron motorning mexanik xarakteristikasi egri chizig'i va rotor tezligi rotor qarshiligi va inersiya momentiga bog'liq.

Kalit so'zlar: asinxron motor, dinamik model, kombinatsiyalashgan chulg'am, DQ o'qlari, park clark transformatsiyasi.

For citation: Bobojanov M.K., Tuychiyev F.N., Rashidov N.Kh. Dynamic model of a three-phase asynchronous motor using Matlab/Simulink. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 1-2, pp. 33–40.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.13064218>

Received: 14.04.2024

Revised: 27.04.2024

Accepted: 10.05.2024

Published: 22.07.2024

Copyright: © Makhsud K. Bobojanov, Furkat N. Tuychiyev, Nuralibek Kh. Rashidov, 2024. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Динамическая модель трехфазного асинхронного двигателя с использованием Matlab/Simulink

Махсуд К. Бобожанов^{1, a)}, Фуркат Н. Туйчиев^{1*}, Нуралибек Х. Рашидов¹

^{1, a)} DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; mbobojanov@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

^{1*} PhD, доц., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; tuychievfn@gmail.com <http://orcid.org/0000-0002-1031-3460>

¹ Докторант, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; nuralibekrashidov@gmail.com <https://orcid.org/0009-0001-5003-6664>

Актуальность: Актуальность работы заключается в том, что динамические модели используются для лучшего понимания состояния асинхронного двигателя в переходных и установившихся режимах работы. Теория перемещения по оси dq используется в системе координат ротора для изучения динамики двигателя. Основным преимуществом программы MATLAB/Simulink является то, что моделируемые электромеханические процессы можно просто и быстро реализовать с помощью функциональных блоков программы. Управление тремя синусоидальными токами – сложная задача, но управлять тремя токами не обязательно. Эту задачу можно упростить, используя преобразования Кларка (E.Clark) и Парка (R.H.Park) для токов статора. Сначала трехфазную систему преобразуют в двухфазную с помощью преобразования Кларка, а затем осуществляют преобразование в систему координат ротора с помощью преобразования Парка.

Цель: Заключается в разработке и исследовании обобщенной модели для изучения и оценки динамического состояния трехфазного асинхронного двигателя с использованием программного обеспечения Matlab / Simulink.

Методы: При разработке модели учитывались и дифференцировались напряжения, токи и магнитные потоки между неподвижным статором и подвижным ротором.

Результаты: С учетом указанных выше напряжений, токов и магнитных потоков было проведено преобразование Парка - Кларка, получены и исследованы динамические характеристики асинхронного двигателя. С помощью программы выполнено динамическое моделирование 4-полюсного асинхронного двигателя мощностью 0,75 кВт, с коэффициентом мощности $\cos\varphi=0,76$, КПД $\eta=73\%$, номинальным током $I_1=2,05$ А. Разработанная модель используется для исследования влияния переменного сопротивления статора, момента инерции и момента нагрузки. Полученные результаты показывают, что механические характеристики асинхронного двигателя и частота вращения ротора зависят от сопротивления ротора и момента инерции.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, динамическая модель, комбинированная обмотка, оси Dq, преобразование Парка - Кларка.

Dynamic model of a three-phase asynchronous motor using Matlab/Simulink

Makhsud K. Bobojanov^{1, a)}, Furkat N. Tuychiyev^{1*}, Nuralibek X. Rashidov¹

^{1, a)} DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; mbobojanov@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

^{1*} PhD., Assoc., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tuychiyevfn@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1031-3460>

¹ PhD student, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; nuralibekrashidov@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-5003-6664>

Relevance: The relevance of the work lies in the fact that dynamic models are used to better understand the state of an asynchronous motor in transient and stable operating modes. The theory of displacement along the dq axis is used in the rotor number system to study the dynamics of the motor. The main advantage of the MATLAB/Simulink program is that the simulated electromechanical processes can be easily and quickly implemented using the functional blocks of the program. Controlling three sinusoidal currents is a difficult task, but controlling three currents is not necessary. This task can be simplified by using the Clark and Park transformations for stator currents. First, the three-phase system is converted to a two-phase one using the Clark transformation, and then the conversion to the rotor coordinate system is carried out using the Park transformation.

Aim: Consists in the development and research of a generalized model for studying and assessing the dynamic state of a three-phase asynchronous motor using Matlab / Simulink software.

Methods: When developing the model, all differential voltages, currents and magnetic fluxes between the stationary stator and the movable rotor were taken into account.

Results: Taking into account the above voltages, currents and magnetic fluxes, the Clark Park transformation was carried out, and the dynamic characteristics were obtained and studied. Using the program, dynamic modeling of a 4-pole asynchronous motor with a power of 0.75 kW, power factor $\cos\varphi=0.76$, efficiency $\eta=73\%$, rated current $I_1=2.05$ A was performed. The developed model is used to study the influence of variable stator resistance, moment of inertia and load moment. The results obtained show that the mechanical characteristics of an asynchronous motor and the rotor speed depend on the rotor resistance and moment of inertia.

Keywords: asynchronous motor, dynamic model, combined winding, DQ axes, Clark park transformation.

1. Кириш (Introduction)

Электр машиналари назариясида маълумки, ҳар қандай n -фаза статор чулғамга ва m -фаза ротор чулғамга эга бўлган k фаза статор машинаси икки фаза модел билан ифодалаш мумкин. Шунинг учун айланувчи электр машинасининг жараёнларини математик тавсифи унинг икки фаза моделини кўриб чиқиш асосида олинади.

Асинхрон моторнинг динамик ҳолатини тавсифловчи кучланиш ва момент тенгламалари вақт ўтиши билан ўзгариб туради. Ушбу дифференциал тенгламаларни ечиш баъзи мураккабликларни ўз ичига олиши мумкин. Динамик моделлаштириш вақт бўйича ўзгарувчи инерция, айланувчи момент ва тезлик учун барча механик тенгламаларни ўрнатади. Шунингдек, у қўзғалмас статор ва ҳаракатланувчи ротор ўртасидаги барча дифференциал кучланишларни, тоқларни ва магнит оқимларни моделлаштиради [1, 2]. Динамик моделлар (математик моделлар) асинхрон

моторнинг ўткинчи ва турғун ҳолатдаги ишлаш режимини яхшироқ тушуниш учун ишлатилади. Ушбу математик модель MATLAB/Simulink ёрдамида яратилган бўлиб, у уч фазали асинхрон моторни, шу жумладан уч фазали ўқни d-q ўққа ўзгартиришни ифодалайди (1-расм). MATLAB/Simulink дастурининг асосий афзаллиги шундаки, моделлаштирилаётган электромеханик жараёнлар дастурнинг функционал блоклари ёрдамида оддий ва тезроқ амалга ошириш мумкин [3]. Учта синусоидал токни бошқариш жуда мураккаб вазифадир, аммо учта токни назорат қилишнинг ҳожати йўқдир. Ушбу вазифани статор тоқлари учун Кларк (E.Clark) ва Парк (R.H.Park) ўзгартиришлари ёрдамида соддалаштириш мумкин. Биринчи бўлиб Кларк ўзгартириш ёрдамида уч фазали тизимдан икки фазали тизимга ўтказилади ва шундан сўнг Парк ўзгартириш ёрдамида ротор координаталари тизимига ўтказиш амалга оширилади [4].

Кларк ўзгартириши - тоқларни уч фазали қўзғалмас координаталар тизимидан икки фазали қўзғалмас координаталар тизимига ўзгартириш учун мўлжалланган. Парк ўзгартириши - тоқларни икки фазали қўзғалмас координаталар тизимидан ротор оқим илашувчанлиги вектори бўйлаб айланувчи координаталар тизимига ўзгартириш учун мўлжалланган, бу ерда ўзгарувчилар ўзгармас ток тизимига ўзказилади. Парк тескари ўзгартириши - ўзгармас тоқларни айланувчи координаталар тизимидан икки фазали қўзғалмас координаталар тизимига ўзгартириш учун мўлжалланган [5].

2. Материаллар ва усуллар (Materials and Methods)

Модель тенгламаларини 1-расмда кўрсатилган асинхрон электр моторнинг dq0 алмаштириш схемасидан ҳосил қилиш мумкин. Ушбу схема билан боғланган оқим илашувчанлик тенгламаларини қуйидагича топиш мумкин [7, 8]:

$$\psi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \quad (1)$$

$$\psi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \quad (2)$$

$$\psi_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds} \quad (3)$$

$$\psi_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \quad (4)$$

Шундан сўнг, оқим илашувчанликларнинг қийматларини алмаштириб, тоқларни топамиз:

$$i_{ds} = \frac{L_r}{D} \psi_{ds} - \frac{L_m}{D} \psi_{dr}; \quad (5)$$

$$i_{qs} = \frac{L_r}{D} \psi_{qs} - \frac{L_m}{D} \psi_{qr}; \quad (6)$$

$$i_{dr} = -\frac{L_m}{D} \psi_{ds} + \frac{L_s}{D} \psi_{dr}; \quad (7)$$

$$i_{qr} = -\frac{L_m}{D} \psi_{qs} + \frac{L_s}{D} \psi_{qr}; \quad (8)$$

бу ерда

$$D = L_s L_r - L_m^2; \quad (9)$$

Кучланишларни топиш учун қуйидаги формулалардан фойдаланамиз

$$v_{ds} = R_s i_{ds} + p \psi_{ds} \quad (10)$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + p \psi_{qs} \quad (11)$$

$$v_{dr} = R_r i_{dr} + p \psi_{dr} + \omega_m \psi_{qr} \quad (12)$$

$$v_{qr} = R_r i_{qr} + p \psi_{qr} + \omega_m \psi_{dr} \quad (13)$$

Юқоридаги тенгламаларга асосланиб, момент ва ротор тезлигини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$T_e = \frac{3}{2} p I_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}) \quad (14)$$

$$\omega_r = \int \frac{p}{2j} (T_e - T_L) \quad (15)$$

бу ерда, p -кутблар сони; j -инерция momenti (кг/м²).

Қисқа туташган роторли асинхрон мотор учун магнит оқим тенгламаларида U_{qr} ва U_{dr} ротор кучланишлари нолга тенг, чунки ротор стерженлари қисқа туташган ҳисобланади. dq ўқдаги оқимлари ва статор тоқлари ёрдамида момент ва тезлик тенгламаларини ҳисоблагандан сўнг, dq ўққа ўзгартириш орқали электр мотор (статор) кириш кучланишларига қўлланилиши керак [1-3].

Мувозанат шароитида асинхрон машинанинг уч фазали статор кучланишлари қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$U_a = \sqrt{2} U_{rms} \sin(\omega t) \quad (16)$$

$$U_b = \sqrt{2} U_{rms} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (17)$$

$$U_c = \sqrt{2} U_{rms} \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \quad (18)$$

Ушбу уч фазали кучланишлар синхрон айланадиган мос координаталар тизимига фақат икки фазада узатилади (dq ўққа ўзгартириш). Буни қуйидаги иккита тенглама ёрдамида амалга ошириш мумкин:

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \quad (19)$$

У холда тўғри ва квадрат ўқлар бўйлаб кучланишлар қуйидагига тенг бўлади:

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} \quad (20)$$

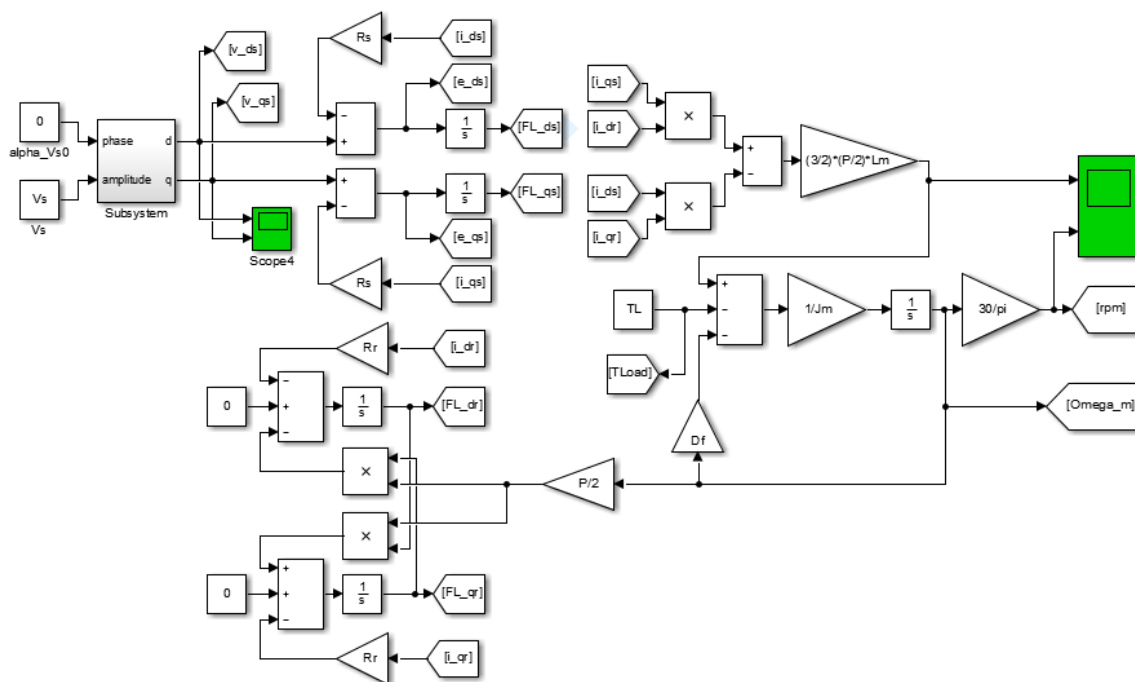
Уч фазали тизимдаги статор ва ротор тоқларининг оний қийматлари натижада қуйидаги ўзгартириш ёрдамида ҳисобланади:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (22)$$

АСИНХРОН МОТОРНИНГ ДИНАМИК МОДЕЛИ

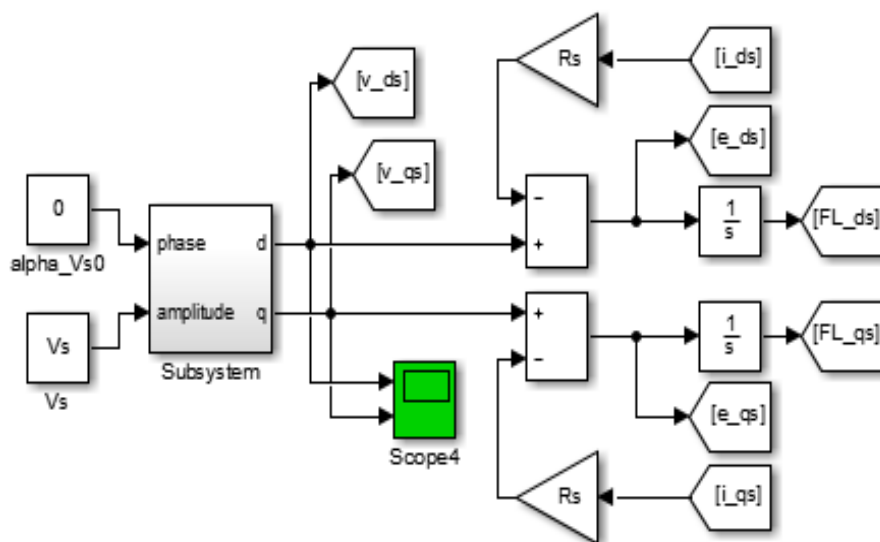
Ушбу бўлимда Matlab/Simulink ёрдамида уч фазали асинхрон мотор модели моделлаштирилган. Модел юқорида II бўлимда келтирилган тенгламалар тўплами ёрдамида амалга оширилади. 1-расмда тасвирланган асинхрон мотор моделининг тўлиқ Simulink схемаси кўрсатилган.



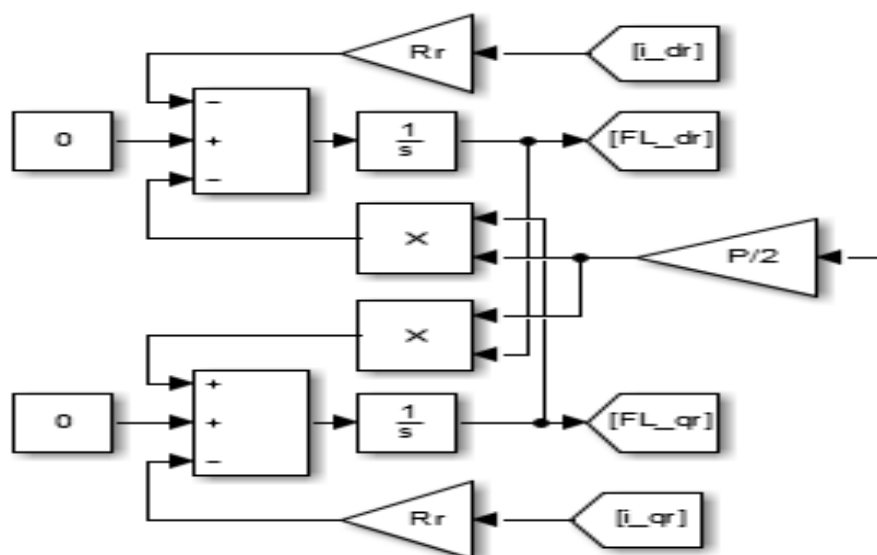
1-расм. Уч фазали асинхрон моторнинг Matlab/Simulink модели
Fig.1. Matlab/Simulink model of a three-phase asynchronous motor

Ушбу моделда ёрдамида уч фазали статор кучланишларини моделлаштириш тенгламалар (16, 17, 18) бўйича шакллантириш бошланади, шундан сўнг ушбу мувозанатланган кучланишларни (19, 20) тенгламаларда бўлгани каби Кларк ва Парк ўзгартиришидан фойдаланган холда синхрон айланадиган рамка билан боғлиқ икки фазали кучланишларга ўзгартирилади. Шундан сўнг, қуйида кўрсатилганидек, dq оқим илашувчанлик ва ток тенгламалари амалга оширилди. (1)-(4) тенгламаларда кўрсатилган ψ_{ds} , ψ_{qs} , ψ_{dr} , ψ_{qr} оқим илашувчанликларни фойдаланилган холда Matlab/Simulink моделини тузиш мумкин. 3- ва 4-расмларда асинхрон моторнинг dq моделининг ички тузилиши тасвирланган, унинг ёрдамида статор ва ротор оқим илашувчанликларини ҳисоблаш мумкин.

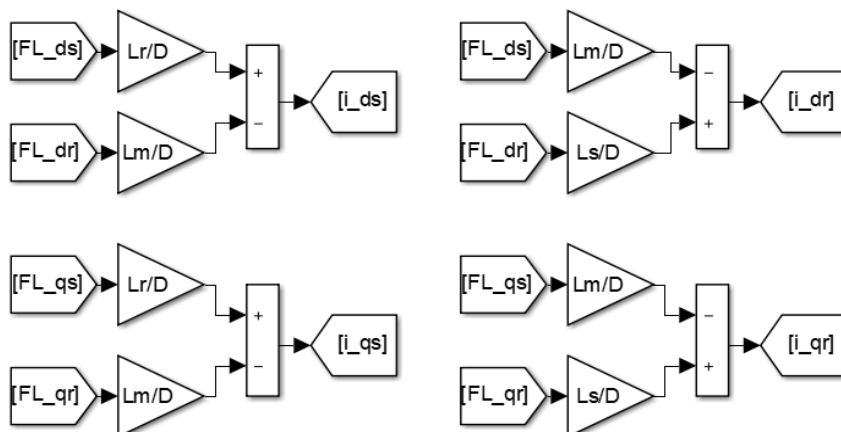
4-расмда (5) - (9) тенгламаларга мувофиқ i_{qs} , i_{ds} , i_{qr} , i_{dr} тоқларни ҳисоблаш учун ишлатиладиган Simulink блоклари кўрсатилган. 6-расмларда (14), (15) тенгламаларда фойдаланган T_c айланиш моменти ва ω_r бурчак тезликнинг бажарилиши кўрсатилган.



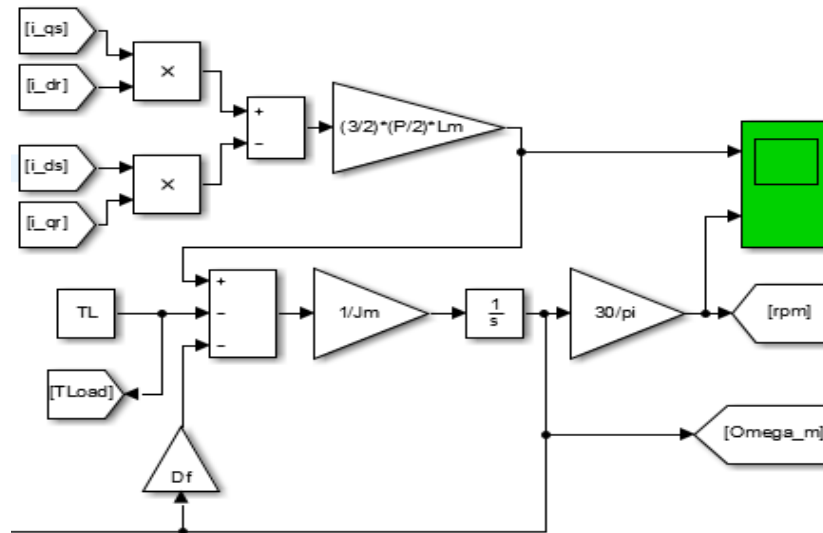
2-расм. Статор оқим илашувчанликларини ҳисоблаш блоки
 Fig.2. Stator flux calculation block



3-расм. Ротор оқим илашувчанликларини ҳисоблаш блоки
 Fig.3. Block for calculation of rotor current flexibility



4-расм. dq ток тенгламаларини амалга ошириш
 Fig.4. Implementation of dq current equations



5-расм. Момент ва бурчак тезлигини амалга ошириш
Fig.5. Implementation of torque and angular velocity

3. Натижалар (Results)

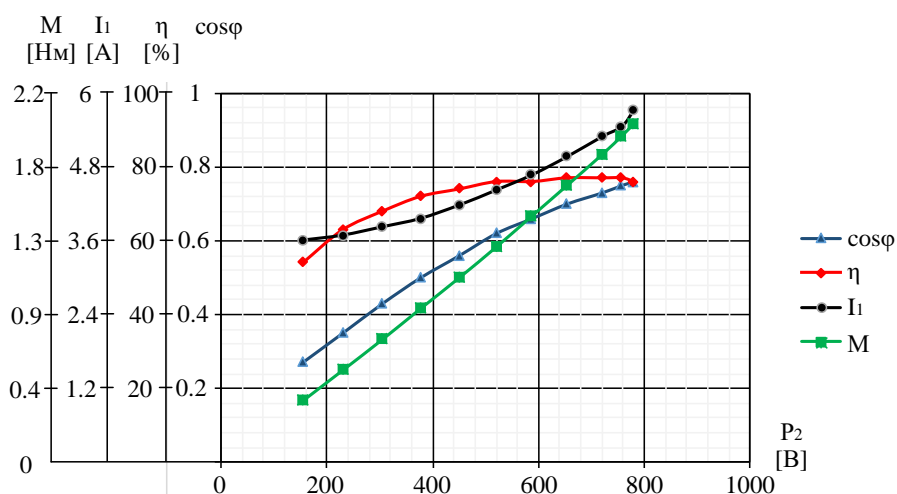
Ушбу модел ёрдамида қуввати 0,75 кВт бўлган АИР71В4 турдаги асинхрон мотор синовдан ўтказилди. Моделлаштириш натижалари куйидаги хусусиятларга эга асинхрон мотор учун берилган: $U=230$ В, $2p=4$, $f=50$ Гц; $R_s=15.7$ Ом, $R_r=8.4$ Ом, $L_{ls}=0.005$ Гн, $L_{lr}=0.025$ Гн, $L_m=0.61$ Гн, $J=0.017$ кг/м², $T_c=5.3$ Нм.

Моделлаштириш натижалари шуни кўрсатдики (1-жадвал), электр моторни фойдали қувват $P_2=757$ Вт қийматга, фойдали иш коэффициенти $\eta=77\%$, қувват коэффициенти $\cos\varphi=0,75$, статор токи $I_1=2$ А ва ротор тезлиги $n=1365$ айл/мин бўлганда эришилади (6-расм).

Мавжуд АИР71В4 турдаги электр моторни техник характеристикаси: фойдали қувват $P_2=750$ Вт, фойдали иш коэффициенти $\eta=73\%$, қувват коэффициенти $\cos\varphi=0,76$, номиналь ток $I_1=2,05$ А ва тезлик $n=1390\%$ айл/мин.

1-жадвал. Ишчи характеристикалар маълумотлари
Table 1. Performance data

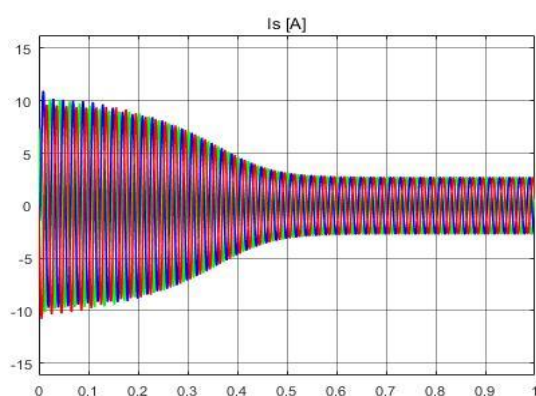
№	P_2 , Вт	n, айл/мин	$\cos\varphi$	η , %	I_1 , А	M, Нм
1	154	1476	0,27	54	1,32	1
2	230	1465	0,35	63	1,35	1,5
3	305	1454	0,43	68	1,4	2
4	377	1442	0,5	72	1,45	2,5
5	450	1430	0,56	74	1,53	3
6	520	1417	0,62	76	1,62	3,5
7	587	1403	0,66	76	1,71	4
8	654	1390	0,7	77	1,82	4,5
9	720	1375	0,73	77	1,94	5
10	757	1365	0,75	77	2	5,3
11	780	1355	0,76	76	2,1	5,7



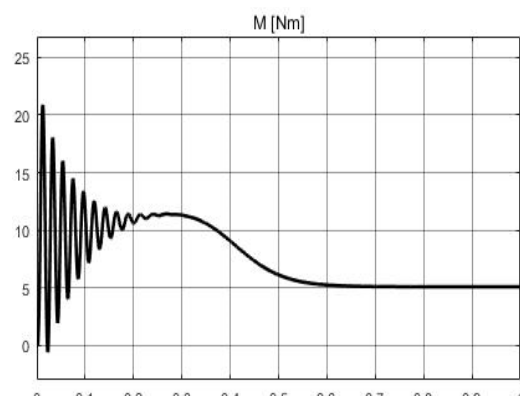
6-расм. Моторнинг ишчи характеристикалари
Fig.6. Operating characteristics of the motor

4. Муҳокама (Discussion)

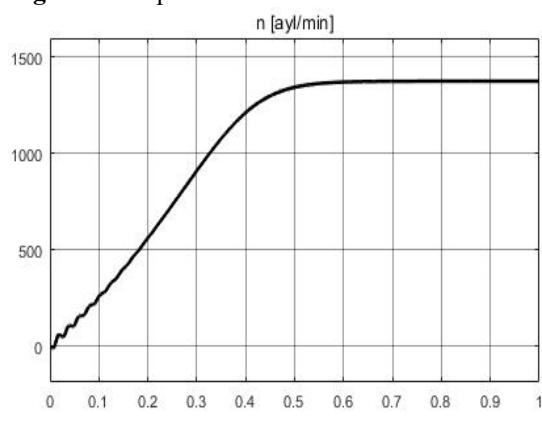
Асинхрон моторнинг турли хил иш характеристикалари истеъмол қилинадиган қувват, электромагнит момент, роторнинг айланиш тезлиги ва статорнинг учта фаза чулғамларидаги тоқларни вақт бўйича ўзгариш графиклари олинди (7÷10-расмлар).



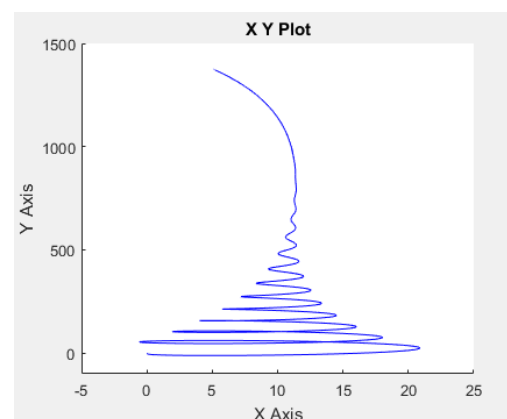
7-расм. Статор фаза тоқлари
Fig. 7. Stator phase currents



8-расм. Электромагнит момент
Fig. 8. Electromagnetic moment



9-расм. Роторнинг айланиш тезлиги
Fig. 9. The rotation speed of the rotor



10-расм. Механик характеристика
Fig. 10. Mechanical characteristics

Олинган маълумотлар АИР71В4 моторни ишга туширишда ўткинчи жараённинг

хусусиятларини баҳолашга имкон беради. Улардан энг муҳими куйидагилардир: турғун ҳолатга эришиш вақти 0,5 с; мотор статор токининг максимал қайд этилган амплитуда қиймати 11 А; мотор тезлиги ва моментининг турғун ҳолатга ўтиш қиймати мос равишда 1365 айл/мин ва 5,3 Нм; мотор моментининг қайд этилган максимал амплитуда қиймати 12 Нм ташкил этади.

5. Хулоса (Conclusions)

Асинхрон моторлар саноат ва ишлаб чиқаришнинг турли соҳаларда кенг қўлланилиб, ушбу асинхрон моторларни лойиҳалаш, ишлаб чиқишдаги хатоликларни ва ушбу хатоликлар оқибатида эксплуатацион харажатларни камайтириш учун электр моторнинг динамик ҳолатини тўғри таҳлил қилиш керак. Уч фазали асинхрон моторнинг дифференциал тенгламаларини ечиш мураккаб бўлганлиги сабабли Кларк ва Парк ўзгартириши, яъни d-q ўққа ўзгартириш формулаларидан фойдаланган ҳолда Matlab/Simulink дастурида динамик модели ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган динамик модель ёрдамида қуввати 0,75 кВт бўлган АИР71В4 туридаги асинхрон моторнинг статик ва динамик режимларда характеристикалари олинди. Статик режимда асинхрон моторни фойдали қувват 757 Вт, фойдали иш коэффициенти 77 %, қувват коэффициенти 0,75, статор токи 2 А ни ташкил этди. Динамик режимда эса моторнинг ўткинчи жараён вақти 0,5 с, ишга тушиш токини карралиги 5,5, максимал моментни номинал моментга нисбати 2,26 ни ташкил этади.

АДАБИЁТ

1. P.C. Krause, O.Wasynczuk, S.D.Sudhoff "Analysis of Electric Machinery and Drive Systems", // *IEEE Press, A John Wiley & Sons, Inc. Publication Second Edition-2002*, -pp.1-5.
2. M.L. de Aguiar, M.M.Cad, "The concept of complex transfer functions applied to the modeling of induction motors", // *Power Engineering Society Winter Meeting -2000*, - pp. 387-391.
3. B.Ozpineci, L.M.Tolbert, "Simulink implementation of induction machine model - A Modular approach", // *IEEE -2003*, -pp 728-734.
4. G.McPherson and R.D.Laramore, "An Introduction to Electrical Machines and Transformers", // *2nd ed., John Wiley and Sons, New York-1990*, -pp. 22-37
5. J. O. P. Pinto, B. K. Bose, L. E. B. Silva, M. P. Kazmierkowski, "A neural-network-based space-vector PWM controller for voltage-fed inverter induction motor drive," // *IEEE Transactions on Industry Applications*, -vol. 36, no.-6, Nov./Dec-2000, pp. 1628-1636
6. A.Diaz, R.Saltares, C. Rodriguez, R. F. Nunez, E. I. Ortiz-Rivera, and J. Gonzalez-Llorente, "Induction motor equivalent circuit for dynamic simulation," // *2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference - 2009*- pp. 858–863
7. A.W.Leedy., Simulink/MATLAB Dynamic Induction Motor Model for Use as A Teaching and Research Tool, // *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, - Vol-3, - ISSN: 2231-2307 -2013, -pp. 102-107.
8. A.W.Leedy, "Simulink/matlab dynamic induction motor model for use in undergraduate electric machines and power electronics courses," // *in 2013 Proceedings of IEEE Southeastcon -2013*, -pp. 1–6

REFERENCES

1. P.C. Krause, O.Wasynczuk, S.D.Sudhoff "Analysis of Electric Machinery and Drive Systems", // *IEEE Press, A John Wiley & Sons, Inc. Publication Second Edition, 2002*, pp.1-5.
2. M.L. de Aguiar, M.M.Cad, "The concept of complex transfer functions applied to the modeling of induction motors", // *Power Engineering Society Winter Meeting, 2000*, pp. 387-391.
3. B.Ozpineci, L.M.Tolbert, "Simulink implementation of induction machine model - A Modular approach", // *IEEE, 2003*, pp 728-734.
4. G.McPherson and R.D.Laramore, "An Introduction to Electrical Machines and Transformers", // *2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 1990*, pp 22-37
5. J. O. P. Pinto, B. K. Bose, L. E. B. Silva, M. P. Kazmierkowski, "A neural-network-based space-vector PWM controller for voltage-fed inverter induction motor drive," // *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 36, no. 6, Nov./Dec. 2000, pp. 1628-1636
6. A.Diaz, R.Saltares, C. Rodriguez, R. F. Nunez, E. I. Ortiz-Rivera, and J. Gonzalez-Llorente, "Induction motor equivalent circuit for dynamic simulation," // *in 2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2009*, pp. 858–863
7. A.W.Leedy., Simulink/MATLAB Dynamic Induction Motor Model for Use as A Teaching and Research Tool, // *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, Vol-3, ISSN: 2231-2307, 2013, pp. 102-107.
8. A.W.Leedy, "Simulink/matlab dynamic induction motor model for use in undergraduate electric machines and power electronics courses," // *in 2013 Proceedings of IEEE Southeastcon, 2013*, pp. 1–6