

Vector Control Features by Electric Drive of Vessel Deck Mechanisms

E.F. Sultanov, E.M. Mammadov

Azerbaijan State Marine Academy (Zarifa Aliyeva st., 18, Baku, AZ1000, Azerbaijan)

For correspondence:

Sultanov Elshan / e-mail: elshen_sultanov@mail.ru

Abstract

The issue of control with asynchronous electric motor by vector method, passed a long way of development and widely applied in modern electric drives of alternating current is being discussed in article. This method provides the simplicity and efficiency in control, considered as a complex object of asynchronous motor with short-circuited rotor. Spheres of applying the vector method always expand and the applying of it in automated electric drives, contributes of replacement and displacement of electric drive of constant current. Among the factors, first of all contributing as widely applying of asynchronous electric drives by vector control, beginning from 70s of XX century, is possible to indicate the development of powerful electronics, providing the issue of reliable and economically beneficial converters as well as the development of quickly affected microelectronics capable to decide the complex algorithms of control. In the case of sharp growth of the resistance moment on a shaft of electric engine during the operation of the ship deck mechanism due getting the necessary speed reduction on the working mechanical feature (soft mechanical feature $M_w = \text{const}$) is possible by applying vector method of regulation. At this, the necessary providing of limit and smoothness becomes easier of electric drive speed regulation. The features of vector control by asynchronous electric motor applied in ship electric drives were researched and offered the conception by vector control asynchronous electric motor in automatic systems in ships with symbol class of automation AUT 2.

Key words: vessel, electric drive, asynchronous motor, vector, control.

DOI: 10.52171/2076-0515_2021_13_02_95_100

For citation:

Sultanov E.F., Mammadov E.M.

[Vector Control Features by Electric Drive of Vessel Deck Mechanisms]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2021, Vol. 13, № 2. Pp. 95–100 (in Azerbaijani)

Gəmi göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarının vektorlarla idarə olunmasının xüsusiyyətləri

E.F. Sultanov, E.M. Məmmədov

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası (Zərifə Əliyeva küç., 18, Bakı, AZ1000, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

Sultanov Elşən / e-mail: elshen_sultanov@mail.ru

Annotasiya

Məqalədə, uzun inkişaf yolu keçmiş və hal hazırda dəyişən cərəyan elektrik intiqallarında ən çox yayılmış idarə sistemi sayılan, asinxron mühərrikin müasir vektorla idarə etmə sistemi məsələsinə baxılmışdır. Bu üsul mürəkkəb obyekt sayılan rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikinin sadə və effektiv yolla idarə edilməsinə imkan yaradır. Üsulun tətbiq sahəsi günü gündən genişlənir və bu üsul avtomatik idarə olunan elektrik intiqalları arasında sabit cərəyan intiqalını əvəz etməklə onu kənarlaşdırır. 1970-ci ildən başlayaraq vektor idarəli asinxron intiqalının belə geniş tətbiq edilməsinə təkan verən amillərdən etibarlı və ucuz çeviricilərin hazırlanmasına imkan yaradan güc elektronikasının inkişafını və eləcə də mürəkkəb idarə alqoritmlərini həll etməyə qadir olan və tez işləyən mikroelektronikanın inkişafını göstərmək olar. Gəmi göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarında iş prosesində mühərrikin valındakı müqavimət momenti qəflətən artdıqda mühərrikin sürətinin işlədiyi mexaniki xarakteristikada lazımi miqdarda enməsinə (yumşaq mexaniki xarakteristikanın $M \omega = \text{const}$) asinxron mühərrikin vektor ilə idarəetmə üsulunda almaq olar. Bu zaman intiqala lazım olan sürət tənziminin həddini və səlisliyini təmin etmək asanlaşar. Məqalədə gəmi elektrik intiqallarında tətbiq edilən asinxron mühərriklərin vektorlarla idarə olunmasının xüsusiyyətləri araşdırılmış və vektor idarəli asinxron mühərrikin, avtomatlaşdırma dərəcəsi simvolu AUT2 olan gəmilərin avtomatik idarə sistemlərində tətbiq edilmə konsepsiyası təklif olunur.

Açar sözlər: gəmi, elektrik intiqalı, asinxron mühərrik, vektor, idarəetmə

DOI: 10.52171/2076-0515_2021_13_02_95_100

УДК: 62.83.52

Особенности векторного управления электроприводом судовых палубных механизмов

Э.Ф. Султанов, Э.М. Мамедов

Азербайджанская государственная морская академия (ул. Зарифы Алиевой, 18, Баку, AZ1000, Азербайджан)

Для переписки:

Султанов Эльшан / e-mail: elshen_sultanov@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается вопрос управления асинхронным электродвигателем, векторным способом, прошедшим большой путь развития и широко применяемым в современных электроприводах переменного тока. Данный способ обеспечивает простоту и эффективность в управлении, считающегося сложным объектом, асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Сферы применения векторного способа постоянно расширяются, и применение его в автоматизированных электроприводах способствует замене электропривода постоянного тока и его вытеснению. Среди факторов, прежде всего способствующих такому широкому применению асинхронного привода с векторным управлением начиная с 70-х годов XX-го века, можно указать развитие силовой электроники, обеспечивающее выпуск надежных и экономически выгодных преобразователей, а также развитие быстродействующей микроэлектроники, способной решать сложные алгоритмы управления. В случае резкого возрастания момента сопротивления на валу электродвигателя при работе судового палубного механизма, получить необходимое снижение скорости на рабочей механической характеристике (мягкая механическая характеристика $M \omega = \text{const}$) возможно при применении векторного метода регулирования. При этом необходимое обеспечение предела и плавности регулирования скорости электропривода, облегчается. Исследованы особенности векторного управления асинхронным электродвигателем, применяемым в судовых электроприводах и предложена концепция применения векторно-управляемых асинхронных двигателей в автоматических системах на судах с символом класса автоматизации AUT2.

Ключевые слова: судно, электропривод, асинхронный двигатель, вektor, управление

Giriş

Vektor idarəli asinxron intiqalının inkişaf prosesinin birinci mərhələsi XX əsrin 20-ci illərinin axırından başlanan və 40-cı illərin axırına kimi davam edən ümumiləşdirilmiş universal elektrik maşınının vektor-matrisa riyazi modelinin işlənilib hazırlanması sayılır.

Bu model ideallaşdırılmış elektrik maşınının elektromaqnit prosesini xətti tənliklər vasitəsilə ifadə etməyə imkan yaradırdı.

Əl vasitəsilə hesabat işi çox tələb olunduğuna görə bu modeldən istifadə etmək çətin olmuşdur, lakin elektrik maşınının keçid prosesinin nəzəri tənliyində modeldən geniş istifadə edilmişdir.

1971-ci ildə F. Blachke koordinat sistemi rotorun iləşmə selinə yönəlmiş asinxron mühərrikin vektor modelindən istifadə etməyi və onun idarəsinin qurulmasını təklif etdi. Vektor idarəsi adını almış bu üsulun mahiyyəti idarə sistemində asinxron mühərrikin əvvəllər məlum olan vektor modelinin ötürmə funksiyasının əksinə olan funksiyadan istifadə edilməsində idi. Nəticədə idarə sisteminin girişində mühərrikin elektromaqnit momentinin tənliyinə daxil olan dəyişən kəmiyyətlər alınır. Bu səbəbdən, belə idarəetmə prinsipinə bəzən bilavasitə momentlə idarə olunma deyilir [1, 2].

İşin məqsədi. Hazırkı işin məqsədi gəmilərdə tətbiq edilən göyörtə mexanizmlərinin asinxron mühərrikli elektrik intiqallarının vektor üsulu ilə idarə edilməsinin digər idarəetmə üsullarına nəzərən üstünlüklərinin hesabı-təcrübi yolla əsaslandırılması

Məsələnin qoyuluşu. Stator və rotorun vektor şəklində tənlikləri. Asinxron mühərrikin faza gərginliklərinin Kirxhof tənlikləri olacaqdır:

$$\begin{aligned} U_{1a} &= i_{1a}r_1 + \frac{d\psi_a}{dt} \\ U_{1b} &= i_{1b}r_1 + \frac{d\psi_b}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

$$U_{1c} = i_{1c}r_1 + \frac{d\psi_c}{dt}$$

Əgər sıfır təşkilədiciyi olarsa, (1) ifadəsinə aşağıdakı tənlik əlavə olunur:

$$U_{10} = i_{10}r_1 + \frac{d\psi_0}{dt}$$

(1) tənliyini vektor şəklində yazsaq, bunun üçün ikinci tənliyi $(U_{1b}) \cdot A$ -ya üçüncünü isə $(U_{1c}) \cdot A^2$ -yə vurub, hər üç tənliyi toplayırıq və sağ, sol tərəflərini $\frac{2}{3}$ -yə vururuq. Nəticədə alırıq [1]:

$$\begin{aligned} \frac{2}{3} \left(U_{1a} + U_{1b} \cdot A + U_{1c} \cdot A^2 \right) &= \frac{2}{3} \left(i_{1a} + i_{1b} \cdot A + i_{1c} \cdot A^2 \right) \cdot r_1 + \\ &+ \frac{2}{3} \frac{d}{dt} \left(\psi_{1a} + \psi_{1b} \cdot A + \psi_{1c} \cdot A^2 \right) \end{aligned}$$

Aşağıdakı əvəzetmələrdən sonra

$$\begin{aligned} \frac{2}{3} \left(U_{1a} + U_{1b} \cdot A + U_{1c} \cdot A^2 \right) &= u_1, \\ \frac{2}{3} \left(i_{1a} + i_{1b} \cdot A + i_{1c} \cdot A^2 \right) &= i_1, \\ \frac{2}{3} \left(\psi_{1a} + \psi_{1b} \cdot A + \psi_{1c} \cdot A^2 \right) &= \psi_1 \end{aligned}$$

Sadə şəkildə alırıq:

$$U_1 = i_1 \cdot r_1 + \frac{d\psi_1}{dt} \quad (2)$$

Eyni qaydada rotor gərginliyinin x-y koordinat sistemində vektor şəkilli tənliyini almaq olar:

$$U_2 = i_2 \cdot r_2 + \frac{d\psi_2}{dt} \quad (3)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, (2) və (3) tənlikləri müxtəlif koordinat sistemləri üçün yazılıblar, yəni (2) $\alpha - \beta$, (3) isə x-y koordinat sistemində yazılıb. Bu vəziyyət onların birlikdə həll olunmasına imkan vermir. Rotorun tənliyini tərpənməz koordinat sistemi olan $\alpha - \beta$ keçirmək üçün onun hər iki tərəfini dönmə operatoru (koordinat sisteminin cari dönmə bucağı) olan $e^{j\theta}$ vururuq və rotorun iləşmə selinin törəməsinin vektorunu, yəni, koordinat sistemində $\psi_2^{(x,u)} = \psi_2^{\alpha,\beta} \cdot e^{-j\theta}$ kimi təsvir etsək, alırıq:

$$e^{j\vartheta} \cdot \underline{U}_2^{(x,y)} = e^{j\vartheta} \cdot i_2^{(x,y)} \cdot r_2 + e^{j\vartheta} \frac{d(e^{-j\vartheta} \cdot \underline{\psi}^{(\alpha,\beta)})}{dt}$$

Müvafiq riyazi əməliyyatdan sonra koordinat sisteminin indeksini nəzərə almasaq, rotorun vektor şəkilli tənliyini statorun koordinat sistemində alırıq:

$$\underline{U}_2 = i_2 \cdot r_2 + \frac{d\underline{\psi}_2}{dt} - j \frac{d\vartheta}{dt} \cdot \underline{\psi}_2 = i_2 \cdot r_2 + \frac{d\underline{\psi}_2}{dt} - j \cdot \omega \cdot \underline{\psi}_2 \quad (4)$$

Burada $\omega = \frac{d\vartheta}{dt}$ - rotorun cari bucaq sürətidir.

(2) və (3) tənlikləri tərpənməz koordinat sistemi üçün yazılıb, onları asinxron mühərrikinin ümumi sisteminə daxil edib həll etmək olar. Bundan başqa, göstərilən hər iki tənliyi sərbəst bucaq sürəti $\omega^{m,n}$ ilə fırlanan $m-n$ sərbəst koordinat sistemində yazmaq olar. Bunun üçün bunların üzərində (4) almaq üçün aparılmış əməliyyatlarla eyni olan əməliyyatı aparmaq lazımdır [1, 2].

Nəticədə alırıq:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1^{(m,n)} &= r_1 \cdot i_1^{(m,n)} + \frac{d\underline{\psi}_1^{(m,n)}}{dt} + j\omega^{(m,n)} \underline{\psi}_1^{(m,n)} \\ \underline{U}_2^{(m,n)} &= r_1 \cdot i_2^{(m,n)} + \frac{d\underline{\psi}_2^{(m,n)}}{dt} + j[\omega^{(m,n)} - \omega] \underline{\psi}_2^{(m,n)} \end{aligned} \right\}$$

Rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikin də $i_2=0$ olduğu üçün həmin tənlik aşağıdakı kimi olacaqdır.

$$\underline{U}_1^{(m,n)} = r_1 \cdot i_1^{(m,n)} + \frac{d\underline{\psi}_1^{(m,n)}}{dt} + j\omega^{(m,n)} \underline{\psi}_1^{(m,n)} \quad (5a)$$

$$0 = r_1 \cdot i_2^{(m,n)} + \frac{d\underline{\psi}_2^{(m,n)}}{dt} + j[\omega^{(m,n)} - \omega] \underline{\psi}_2^{(m,n)} \quad (5b)$$

Alınmış tənlikləri müxtəlif koordinat sisteminə keçirmək olar, bunun üçün (5) tənliyində $\omega^{m,n}$ yerinə müvafiq fırlanma tezliyini qoymaq lazımdır.

$\alpha - \beta$ – tərpənməz koordinat sistemi ($\omega^{m,H} = 0$), statorun a fazasının oxu ilə üst-üstə düşür.

$x-y$ – rotorla sinxron fırlanan koordinat sistemi ($\omega^{m,H} = \omega$), rotorun a fazasının oxu ilə üst-üstə düşür.

$d-q$ – rotorun ilişmə seli ilə sinxron fırlanan və eyni istiqamətdə olan koordinat

sistemi ($\omega^{m,H} = \omega_1$), $m-n$ – sərbəst sürətlə fırlanan və istiqaməti sərbəst olan koordinat sistemi $\omega^{m,H}$

Asinxron maşınlarında statorun maqnit selinin bucaq tezliyi Ω_1 , rotorun maqnit selinin bucaq tezliyi Ω_2 və rotorun fırlanmasının bucaq tezliyi Ω - ilə aşağıdakı asılılıq ilə bağlıdır. $\Omega_1 = \Omega \pm \Omega_2$

Burada müsbət işarəsi fırlanma istiqamətləri eyni olduğu hala aiddir. Ancaq statorun və rotorun maqnit sahələrinin bucaq tezlikləri Ω_1 və Ω_2 müvafiq olaraq onların cərəyanlarının tezliyi və cüt qütblər sayı ilə təyin edilir.

$$\text{Yəni, } \Omega_1 = \frac{\omega_1}{3_n} \quad \text{və} \quad \Omega_2 = \frac{\omega_2}{3_n}$$

Burada: Z_p -cüt qütblər sayı

ω_1 və ω_2 – statorun və rotorun cərəyanlarının tezliyidir.

Bunların əsasında yaza bilərik:

$$\omega_1 = \Omega \cdot 3_n \pm \omega_2 = \omega \pm \omega_2 \quad (6)$$

Burada $\omega_1 = \Omega \cdot 3_n$ – bir cüt qütbə malik olan asinxron mühərrikinin rotorunun fırlanmasının bucaq tezliyidir.

Asinxron mühərrikinin vektorlarla idarə edilməsinin ümumi prinsipi. Asinxron mühərriklərdə elektrik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevirilməsinin əsas axırncı göstəricisi valdakı elektromaqnit moment sayılır.

O, statordan və ya rotordan keçən cərəyanın maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı əlaqəsindən yaranır və vektor kəmiyyətlərinin vurulmasından alındığı üçün aşağıdakı kimi təsvir oluna bilər.

$$\underline{m} = \frac{3}{2} Z_p (\underline{\psi}_1 \cdot i_1) = -\frac{3}{2} Z_p (\underline{\psi}_1 \cdot i_2) = \frac{3}{2} Z_p (\underline{\psi}_2 \cdot i_2) \quad (7)$$

Burada, Z_p – maşının cüt qütblərinin sayıdır.

Məlum olduğu kimi elektrik intiqalının tam idarəsini təmin etmək üçün mühərrikin yaratdığı elektromaqnit momentin idarə olunması mümkün olmalıdır.

Asinxron mühərrikli intiqalın tam idarəsini qurmaq üçün 7-də göstərilmiş moment düsturundan istifadə etmək olar [2, 3].

Həmin düsturdan göründüyü kimi elektromaqnit momentinin ifadəsində rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikində ölçülməsi mümkün olmayan i_2 rotor cərəyanı vardır və bu momentin idarə olunmasını çətinləşdirir. Buna görə də asinxron mühərrikinin cərəyanları və ilişmə selləri arasındakı əlaqədən [3,4], yəni $\psi_1 = L_1 i_1 + L_m i_2$ və $\psi_2 = L_2 i_2 + L_m i_1$ düsturlarına əsasən, elektromaqnit momentin düsturunda i_2 -ni i_1 ilə əvəz edək:

$$m = \frac{3}{2} Z_p L_m (i_2 \cdot i_1) = -\frac{3}{2} Z_p \frac{L_m}{L_1} (\psi_1 \cdot i_2) = \frac{3}{2} Z_p \frac{L_m}{L_1} (\psi_2 \cdot i_1) \quad (8)$$

Ümumiyyətlə, tənliklərin seçilməsi idarə sisteminin qurulmasında böyük rol oynayır, çünki tənliklərə daxil olan kəmiyyətlərin bir çoxlarının ölçülməsi (xüsusən qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikdə) qeyri mümkündür. Bundan əlavə, tənliyin düzgün seçilməsi sistemin ötürmə funksiyasını mürəkkəbləşdirir və onun dərəcəsini artırır.

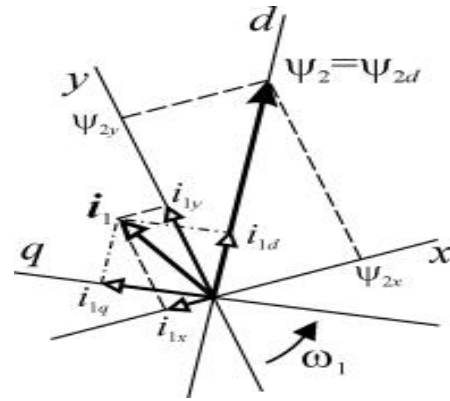
Seçilmədən asılı olmayaraq elektromaqnit momentin idarəsinin strukturu (tərkibi) 9-da göstərilənlə eyni olduqda asinxron mühərrikin modelinin və idarə sisteminin qurulmasının ümumi prinsipi, elektromaqnit momentin müəyyən kəmiyyətinin vektoruna yönəlmiş koordinat sistemindən istifadə edilməsindədir.

$$m = -\frac{3}{2} Z_p (\psi_{2x} + j\psi_{2y}) \cdot (i_{2x} + ji_{2y}) = -\frac{3}{2} Z_p (\psi_{2x} \cdot i_{2y} - \psi_{2y} \cdot i_{2x}) = \frac{3}{2} Z_p (\psi_{2y} \cdot i_{2x} - \psi_{2x} \cdot i_{2y}) \quad (9)$$

Belə olduqda seçilmiş kəmiyyətin vektorunun koordinat sisteminin digər oxuna (məsələn, d, q koordinat sisteminə q oxuna) proyeksiyası və onun moment düsturunda təşkilədiciyə sıfıra bərabər olacaqdır.

Bununla da asinxron mühərrikin elektromaqnit momentinin ifadəsi sabit cərəyan mühərrikinin elektromaqnit momentinin ifadəsi ilə eyni olur, hansı ki, mühərrikin lövbər cərəyanına və əsas maqnit selinə ($M = k I_L \Phi$) mütənasibdir.

Elektromaqnit momentinə daxil olan kəmiyyətlərdən hansının vektorunun koordinat sistemi üçün yön (koordinat sisteminin oxlarından birinin həmin vektorla üst-üstə düşməsi) seçilməsi sərbəstdirsə, burada ancaq sistemin sadəliyi və asinxron mühərrikin modelinin işləyə bilməsi (realizasiya olunması) nəzərə alınmalıdır [3, 4].



Şəkil - Elektromaqnit momentin müxtəlif koordinat sistemlərində təyin edən vektorlar

Figure - Vectors determining the electromagnetic moment in different coordinate systems

Məsələn, koordinat sistemi (d, q) rotorun ilişmə selinin (ψ_2) vektoruna yönəlmiş olsa (üst-üstə düşsə), alırıq: ($\psi_2 = \psi_{2d}; \psi_{2q} = 0$) elektromaqnit momentinin ifadəsi isə aşağıdakı şəkildə olacaqdır:

$$m = \frac{3}{2} Z_p (\psi_{2q} \cdot i_{2d} - \psi_{2d} \cdot i_{2q}) = -\frac{3}{2} Z_p \psi_{2d} i_{2q} \quad (10)$$

və yaxud

$$m = \frac{3}{2} Z_p \frac{L_m}{L_2} (\psi_{2d} \cdot i_{1q} - \psi_{2q} \cdot i_{1d}) = \frac{3}{2} Z_p \frac{L_m}{L_2} \psi_{2d} i_{1q}$$

(10)-da göstərilənlərdən aydın olur ki, bunlardan birinin düsturu rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikinin idarə olunması üçün tətbiq edilə bilməz, çünki bu düsturda ölçülməsi və idarə olunması mümkün olmayan rotor cərəyanı (i_{2q}) vardır.

Eyni zamanda, ikinci düstur rotorun ilişmə selini sabit saxlamaq şərti ilə stator cərəyanının eninə oxa proyeksiyası (i_{1q}) dəyişməklə, elektromaqnit momentini idarə etməyə imkan verir.

Beləliklə asinxron mühərrikin vektorla idarə sistemini qurmaq üçün koordinat sistemi-nə yönəlmiş olan vektoru seçmək, elektromaqnit momentin tənliyini müəyyən etmək və bu tənliyə daxil olan kəmiyyətləri (5b) görə seçmək lazımdır [3, 4].

Nəticə

Məqalədə gəmi elektrik intiqallarında tətbiq edilən rotoru qısa qapanmış üç fazalı asinxron mühərrikin idarə edilməsində yeni texniki nailiyyət sayılan vektorla idarə üsulu araşdırılmış və aydın olmuşdur ki, bu üsul gəmi elektrik intiqallarında tətbiq edilən

asinxron mühərrikinə bir çox müsbət cəhətləri verir. Belə ki, mühərrikin sürət tənziminin həddini və səlisliyini təmin etmək asanlaşır. Mexaniki xarakteristikanı (yumşaq mexaniki xarakteristikanın $M \cdot \omega \approx \text{const}$) asinxron mühərrikin vektor ilə idarə etmə üsulunda almaq olar. $d-q$ koordinat sistemində aparılmış riyazi əməliyyatların nəticəsində mühərrikin elektromaqnit momentinin ifadəsi sadələşdirilmiş, ölçülməsi və hesablanması asan başa gələn, cəmi iki parametrdən asılı olan (rotorun ilişmə selindən və onun cərəyanının tezliyindən) riyazi ifadəsi alınmışdır.

Məqalədə aparılmış təhlillərə və hesablamalara əsasən, AUT2 avtomatlaşma dərəcəli gəmilərdə asinxron mühərriki vektor idarəli avtomatik idarə sistemlərinin tətbiq edilməsi təklif olunur.

REFERENCES

1. Rudakov V.V, Stolyarov I.M, Dartau V.A, «Asinhronnye elektroprivody s vektornym upravleniem» L.Energoatomizdat, 1987-134 s. (in Russia)
2. Vinogradov A.B. Vektornoe upravlenie elektroprivodami peremennogo toka /GOUVPO «Ivanovskij gosudarstvennyj energeticheskij universitet imeni V.I. Lenina»-Ivanovo, 2008-298 s. (in Russia)
3. Pankratov V.V., Zima E.A. Metod mnogokriterial'noj optimizacii algoritmov vektornogo upravleniya asinhronnymi elektroprivodami// Izv. vuzov. Elektromekhanika - 2002–№ 2, 44–49 (in Russia)
4. Sokolovskij G.G, Elektroprivody peremennogo toka s chastotnym regulirovaniem. - M.: Izdatel'skij centr "Akademiya", 2006-272 s. (in Russia)
5. Sultanov E.F., Mamedov E.M. Upravlenie elektroprivodami sudovykh gruzopod"emnykh mekhanizmov s pomoshch'yu tiristornyx regulyatorov napryazheniya. //Vestnik Azerbaidzhanskoj inzhenernoi akademii. 2019. Vol.11, №3. S. 90-93 (in Russian)

Redaksiyaya daxil olub:	07.09.2020
Tamamlama işlərindən sonra:	14.06.2021
Nəşrə qəbul edilib:	19.06.2021