

UOT 628.3

GƏMİ KÖMƏKÇİ SÜKAN QURĞULARININ ELEKTRİK MÜHƏRRİKİNİN TEZLİK ÇEVİRİCİSİ İLƏ İDARƏ OLUNMASININ ÜSTÜNLÜKLƏRİ

Sultanov E.F., Məmmədov E.M., İsmayılov S.S.

“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ

AZ1000 Bakı şəh., Z.Əliyeva küç.,18

E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, emilmemmedoglu@gmail.com, sahib-ismayil@bk.ru,

Xülasə. Gəmi köməkçi sükan elektrik intiqalında istifadə olunan tezlik çeviricilərinin xüsusiyyətlərindən və elektrik intiqalının sürəti tənzim olunan köməkçi sükan qurğusunun xarakteristikalarından bəhs olunur. Həmçinin gəmi köməkçi sükan elektrik intiqalının sürətinin tənzimi üçün istifadə olunan matris tipli tezlik çeviricilərinin üstünlükləri qeyd edilmişdir.

Аннотация. Рассмотрены особенности преобразователей частоты, применяемых в электроприводах судовых подруливающих устройств и характеристики подруливающего устройства с регулируемым электроприводом. Также отмечены преимущества преобразователей частоты матричного типа, используемых для регулирования скорости электропривода подруливающего устройства судна.

Abstract. The article talks about the characteristics of the frequency converters used in the electric drive of the ship's auxiliary steering and the characteristics of the auxiliary steering device controlled by the regulation of the speed of the electric drive. The article also mentions the advantages of matrix-type frequency converters used for speed regulation of the ship's auxiliary steering electric drive.

Açar sözlər: gəmi, köməkçi sükan, mühərrik, elektrik intiqalı, tezlik çeviricisi

Ключевые слова: судно, подруливающее устройство, двигатель, электропривод, частотный преобразователь

Key words: ship, bow thruster, motor, electrical drive, frequency convertor

Giriş. Gəmilərin manevr etmə qabiliyyətini artırmaq üçün əsas sükan qurğusundan başqa, əlavə idarəetmə vasitələrindən də istifadə edilir. Əlavə idarəetmə qurğuları, əsasən, gəminin körpüyə yan alması, dar kanallarda hərəkəti və manevr rejimlərində tətbiq edilir. Əlavə idarəetmə vasitələrinə burun hissəsinin sükanı, istiqamətləndirici başlıqlar, aktiv sükanlar, köməkçi sükan qurğusu və köməkçi sükan başlıqları aiddir. Köməkçi sükan qurğusu, əsasən, gəminin burun, bəzən isə arxa hissəsində yerləşdirilir. Bu qurğu gəminin diametral müstəvisinə perpendikulyar, içərisində avar vintli, və ya pərli hərəkətverici olan borudan ibarətdir. Gəmilərdə istifadə olunan müxtəlif işçi mexanizmlərin normal iş şəraiti onları hərəkətə gətirən elektrik intiqallarından asılıdır. Müasir dövrdə layihələndirilən və hazırlanan gəmilərin elektrik intiqallarının idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə tələblər artır. Hal-hazırda istismarda olan gəmilərin böyük hissəsində elektrik intiqallarının avtomatik idarəetmə sxemlərində istifadə olunan rele-kontaktor sisteminin uzunmüddətli işləməsi yükdən və qoşulma tezliyindən asılıdır. Gəminin köməkçi sükan qurğusu gəminin yanalma və digər əməliyyatlar prosesində manevr etməsini təmin edir [1,2].

Köməkçi sükan qurğusunun idarə olunması iki istiqamətdə həyata keçirilir:

1. Sabit sürətlə fırlanan vintin addımını tənzim etməklə;
2. Sabit addımlı vintin hərəkətə gətirən elektik mühərrikinin sürətini tənzim etməklə.

Elektik intiqalının sürətini tənzim etmək üçün faza rotorlu asinxron elektrik mühərrikindən istifadə olunur.

Burada rotor dövrəsinə qoşulmuş müqavimət vasitəsi ilə mühərrikin sürəti tənzim olunur, eyni zamanda da mühərrikin işə düşmə cərəyanının məhdudlaşdırılması təmin edilir. Lakin dövrlər sayının tənzim edilməsi prosesi enerji itkilərinin yaranması ilə xarakterizə olunur, bu da iqtisadi baxımdan əlverişli hesab olunmur. Eyni zamanda sürətin tənzimi pilləli şəkildə həyata keçirilməsi baxımından, tənzimin keyfiyyəti də qənaətbəxş sayılmaz [2,3].

Əsas hissə. Elektik mühərrikinin sürətini tənzim etmək üçün istifadə olunan digər bir üsul tezlik çeviricisindən istifadə etməklə qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikin sürətinin tənzim olunmasıdır. Tezlik çeviricisindən istifadə edərkən, elektrik intiqalında həm iqtisadi cəhətdən əlverişli qurğudan istifadə olunması, həm mühərrikin sürətinin tələb olunan tənzim diapazonunda idarə olunması, həm də mühərrikin işə düşmə cərəyanının məhdudlaşdırılması nəzərə alınmalıdır.

Göstərilən funksiyaları yeninə yetirmək üçün şəbəkəyə bir başa qoşulmuş tezlik çeviricisinin (ŞBTÇ) bəzi xüsusiyyətləri ilə tanış olaq (şəkil 1).

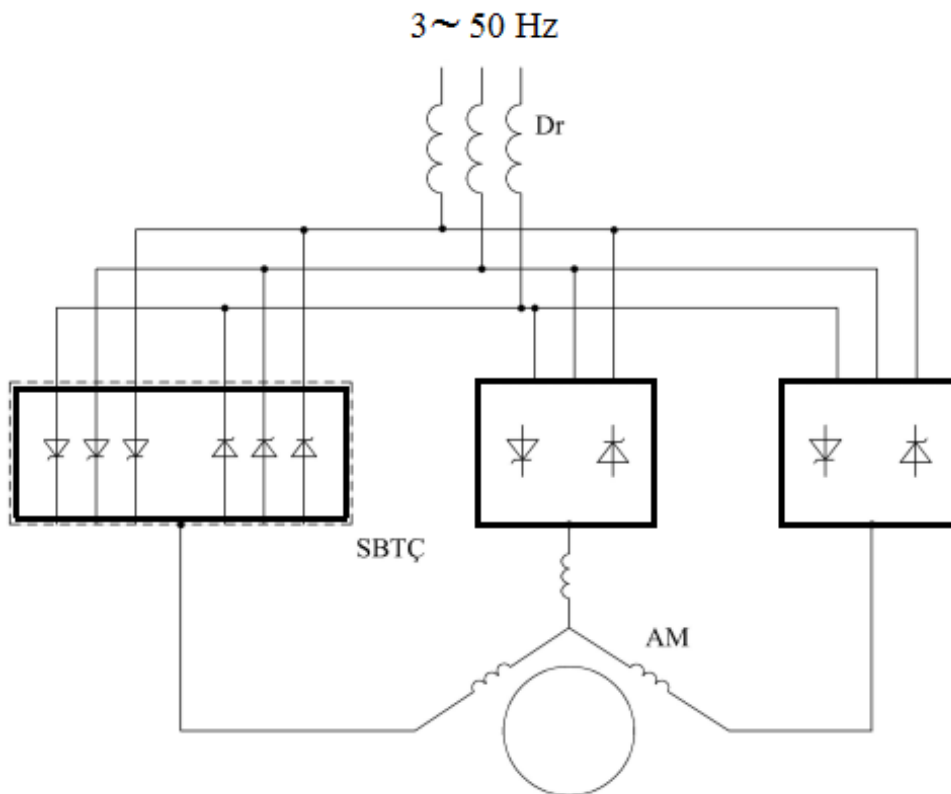
Tezlik çeviricisi hər fazada 6 ədəd tiristor olmaqla, ümumi 18 ədəd tiristorlardan ibarətdir. Bu tezlik çeviricisində tiristorlar təbii kommutasiya prosesi nəticəsində bağlanırlar. Ona görə də belə tezlik çeviricisinin çıxış tezliyi şəbəkə tezliyindən az olur ($5 \div 30$) Hz. Qısa qapanmış rotorlu asinxron elektrik intiqallarının sürətini aşağı tezlik diapazonunda idarə etmək üçün bu tezlik çeviricilərindən geniş istifadə edilir [4].

Tezlik çeviricisinin çıxış tezliyi

$$f_2 = \frac{mf_1}{2(n-1) + m} ; \quad (1)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada: n - çıxış gərginliyi əyrisində düzləmiş yarımdalğaların sayı; m - şəbəkənin fazalar sayıdır.

Bu tezlik çeviriciləri şəbəkə tezliyindən aşağı tezliklərdə istifadə olunduğu üçün onların gücü idarə etdiyi elektik mühərrikinin gücündən kiçik olur.



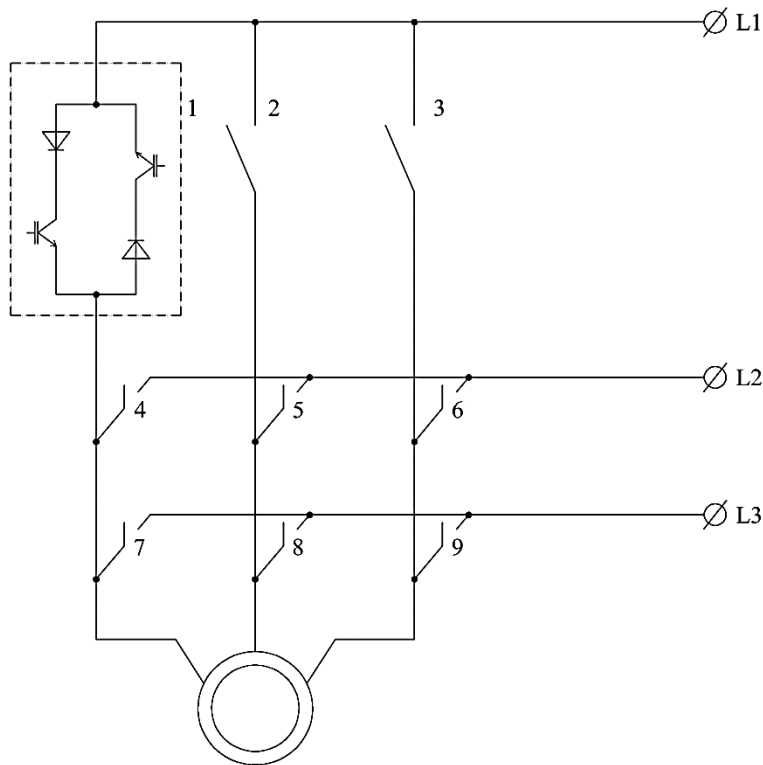
Şəkil 1. Şəbəkəyə birbaşa qoşulmuş tezlik çeviricisi

Qeyd etmək lazımdır ki, belə tezlik çevirciləri tezliyi çevirməklə yanaşı eyni zamanda mühərrikin güc dövrəsində cərəyansız kommutasiya prosesini də həyata keçirirlər. Lakin mühərriki tezlik çeviricisinin maksimal tezliyinə uyğun gələn sürətdən şəbəkəyə bir başa qoşduqda mühərrikdə böyük cərəyan sıçrayışı alınır. Bu halın qarşısını almaq üçün xüsusi tədbirlər görülməlidir (məsələn, gərginliyi dəyişməklə keçid prosesini həyata keçirmək).

Digər tezlik çeviricilərindən biri şəbəkəyə birbaşa qoşulmuş matris tipli tezlik çeviricisidir (MTC). Bu tezlik çeviricisinin güc dövrəsi və mühərrikə qoşulma sxemi şəkil 2-də verilmişdir. Burada (1÷9) açarlarının hər biri iki ədəd IGBT tipli bipolyar tranzistorlardan yığılmışdır və nəticədə tezlik çeviricisində 18 ədəd tranzistordan istifadə olunur. Tranzistorlar tam idarə oluna bilmə qabiliyyətinə (həm açılma həm də bağlanma) malikdirlər [4,5].

Bu tranzistorlar əks paralel şəkildə qoşulduqları üçün enerjini həm mühərrikə həm də tormoz rejimində isə enerjini şəbəkəyə ötürə bilirlər. MTC- nin əsasən aşağıdakı üstünlüklərini qeyd etmək olar:

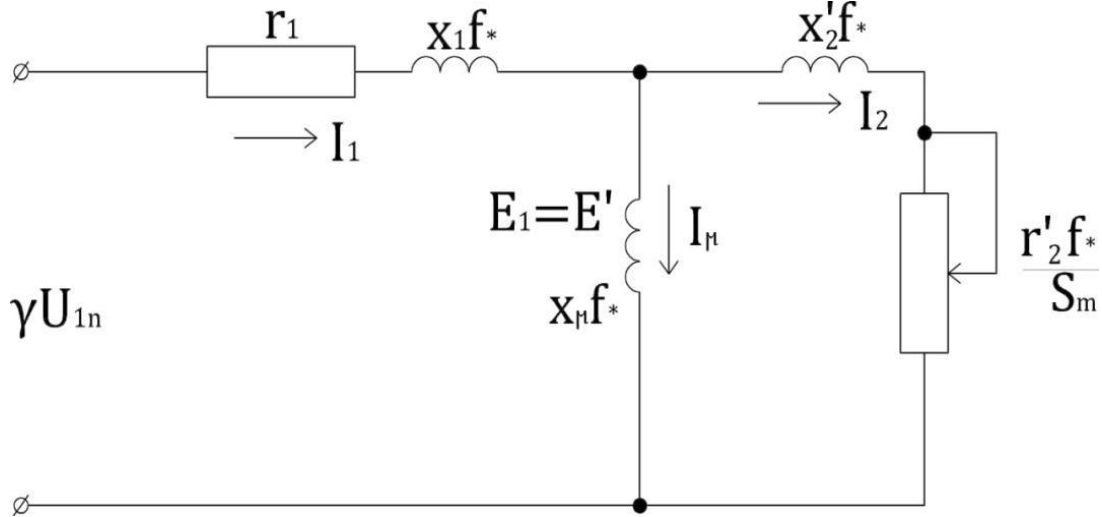
- çıxış tezliyinin sıfırdan şəbəkə tezliyinə qədər və ondan yuxarı hədlərdə tənzim olunması;
- yüksək faydalı iş əmsalına ($\eta = 0.98$) və güc əmsalına malik olması ($\cos \varphi = 0.95$);
- əlavə qurğuları tətbiq etmədən enerjini şəbəkəyə ötürə bilməsi;
- cərəyanın yüksək harmoniklər vasitəsi ilə təhrif olunmasının 8%-dən çox olmaması.



Şəkil 2. Asinxron mühərrikin matris tipli tezlik çeviricisi vasitəsi ilə idarə olunması

Tezlik çeviricisindən qida alan asinxron mühərrikin sürəti tənzim olunarkən mühərrikin statoruna verilən gərginliyin həm qiyməti həm də tezliyi işçi mexanizmin xarakteristikasından asılı olaraq müəyyən bir qanunla dəyişməlidir. Əvvəlcə ümumi halda tezlik vasitələri ilə idarə olunan asinxron elektrik intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları ilə tanış olaq. Şəbəkə tezliyini dəyişməklə idarə olunan asinxron mühərrikin əvəz sxeminə baxaq (şəkil 3). Burada

$f_* = \frac{f_1}{f_{1n}} = \frac{\omega_1}{\omega_{1n}}$ statorun nisbi tezliyi olub stator gərginliyinin tezliyinin (f_1) nominal şəbəkə tezliyinə (f_n) nisbətidir. $S_m = \frac{f_2}{f_{1n}} = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_{1n}}$ mütləq sürüşmə olub rotorun nisbi tezliyini göstərir. $\gamma = \frac{U_1}{U_{1n}}$ stator gərginliyinin nisbi qiymətidir. $x_\mu f_*$, $x_1 f_*$, $x_2' f_*$ - müxtəlif tezliklərdə induktiv müqavimətlərdir.



Şəkil 3. Şəbəkə tezliyini dəyişməklə idarə olunan asinxron mühərrikin əvəz sxemi

Əvəz sxemindən istifadə edərək aşağıdakı ifadələri almaq olar [3]:

$$I_1 = U_{1n} \gamma \sqrt{\frac{C(S_m)}{B(f_*; S_m)}}, \quad (2)$$

$$I_2' = U_{1n} \gamma \frac{S_m}{\sqrt{B(f_*; S_m)}}, \quad (3)$$

$$I_\mu = U_{1n} \gamma \sqrt{\frac{D(S_m)}{B(f_*; S_m)}}, \quad (4)$$

$$E_1 = E_1' = U_{1n} \gamma \sqrt{\frac{A(S_m)}{B(f_*; S_m)}}, \quad (5)$$

Bu ifadələr əsasında aşağıdakı parametrləri təyin edək:

Hava məsafəsində maqnit seli

$$\Phi = \frac{U_{1n} \gamma}{C_1 f_{1n}} \sqrt{\frac{A(S_m)}{B(f_*; S_m)}} \quad (6)$$

Mühərrikin elektromaqnit momenti

$$M = \frac{m_1 U_{1n}^2 \gamma^2}{\omega_{1n}} \cdot \frac{r_2' S_m}{B(f_*; S_m)}, \quad (7)$$

Kritik moment

$$M_{kr} = \frac{3 U_{1n}^2 \gamma^2}{2 \omega_{0n} f_* \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2 f_*^2} \right]} \quad (8)$$

(2), (3) və (7) ifadələrində aşağıdakı şərti işarələr qəbul olunmuşdur;

$$\begin{aligned}
 A(S_m) &= r_2'^2 + x_2'^2 S_m^2; \\
 B(f_*; S_m) &= (b^2 + c^2 f_*^2) S_m^2 + 2r_1 r_2' f_* S_m + (d^2 + e^2 f_*^2) r_2'^2; \\
 C(S_m) &= a^2 + (1 + (\tau_2)^2) S_m^2; \\
 D(S_m) &= a^2 + \tau_2^2 S_m^2; \\
 a &= \frac{r_2'}{x_\mu}; \quad b = r_1(1 + r_2); \quad c = x_\mu r; \quad d = \frac{r_1}{x_\mu}; \quad e = 1 + r_1; \\
 \tau_1 &= \frac{x_1}{x_\mu}; \quad \tau_2 = \frac{x_2}{x_\mu}; \quad \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2;
 \end{aligned}$$

Bu şərti işarələri (2) və (7) ifadələrində nəzərə alaq

$$I_1 = U_{1n} \gamma \sqrt{\frac{a^2 + (1 + \tau_2)^2 S_m^2}{(b^2 + c^2 f_*^2) S_m^2 + 2r_1 r_2' f_* S_m + (d^2 + e^2 f_*^2) r_2'^2}}, \quad (9)$$

$$M = \frac{3U_{1n}^2 \gamma^2}{\omega_{1n}} \cdot \frac{r_2' S_m}{(b^2 + c^2 f_*^2) S_m^2 + 2r_1 r_2' f_* S_m + (d^2 + e^2 f_*^2) r_2'^2}, \quad (10)$$

Mütləq sürüşmənin ifadəsinə əsasən

$$S_m = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_{1n}};$$

buradan

$$\omega = \omega_{1n} (f_* - S_m), \quad (11)$$

(9), (10) və (11) ifadələrindən istifadə edərək mühərrikin tezliyin müxtəlif qiymətlərində elektromexaniki $\omega(I_1)$ və mexaniki $\omega(M)$ xarakteristikalarını qurmaq olar [5,6].

Parametrləri aşağıda verilmiş “General Əsədov” tipli sərnəşin gəmisinin köməkçi sukan elektrik intiqalı üçün $\omega(I_1)$ və $\omega(M)$ xarakteristikalarını tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün quraq:

$N_{2n} = 400 \text{ kVt}; \quad I_1 = 794 \text{ A}; \quad U_{1n} = 380 \text{ V}; \quad n_n = 980 \text{ dövr/dəq}; \quad r_1 = 0,008 \text{ Om}; \quad x_1' = 0,036 \text{ Om}$
 $R_2 = 0,0128 \text{ Om}; \quad x_1' = 0,048 \text{ Om}; \quad X_\mu = 2 \text{ Om}; \quad \omega_{1n} = 108 \text{ 1/s}$

$\omega(I_1)$ və $\omega(M)$ xarakteristikalarını qurmamışdan əvvəl köməkçi sukan elektrik intiqalı üçün tezlik və gərginlik arasındakı asılılığı müəyyən edək. Kostenko düsturuna əsasən

$$\frac{U_1}{U_{1n}} = \frac{f_1}{f_{1n}} \sqrt{\frac{M_{s_1}}{M_n}}; \quad (12)$$

Köməkçi sukan qurğusu ventilyator xarakterli yükə uyğun olduğundan

$$M_s = M_n \left(\frac{\omega}{\omega_{1n}} \right)^2 = M_n \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2; \quad (13)$$

Bu ifadəni (12)-də nəzərə alsaq

$$\frac{U_1}{U_{1n}} = \frac{f_1}{f_{1n}} \sqrt{\left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2} = \frac{f_1^2}{f_{1n}^2};$$

Beləliklə, ventilyator xarakterli yük üçün

$$\gamma = f_*^2$$

asılılığından istifadə edilməlidir. Müxtəlif tezliklər üçün bu asılılığın qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir:

Cədvəl 1

f_1, Hs	50	30	25	20	10	5	Qeyd
f_*	1	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	$f_{1n} = 50 Hs$
γ	1	0,36	0,25	0,16	0,04	0,01	

$$4125 \cdot 0.36^2 \cdot 0.0128 \cdot u / ((0.000068 + 0.072 \cdot 0.6^2) \cdot u^2 + 0.0002 \cdot 0.6 \cdot 0.36 \cdot u + (0.000016 + 1.03 \cdot 0.6^2) \cdot 0.000164)$$

(9), (10) və (11) ifadələrindəki şərti işarələrin qiymətlərini hesablayaq:

$$\tau_1 = \frac{x_1'}{x_\mu} = \frac{0.036}{2} = 0.018 ; \tau_2 = \frac{x_2'}{x_\mu} = \frac{0.048}{2} = 0.024 ;$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2 = 0.018 + 0.024 + 0.018 \cdot 0.024 = 0.0424 ;$$

$$a = \frac{r_2'}{x_\mu} = \frac{0.0128}{2} = 0.0064 ; b = r_1(1 + \tau_2) = 0.008(1 + 0.024) = 0.082 ;$$

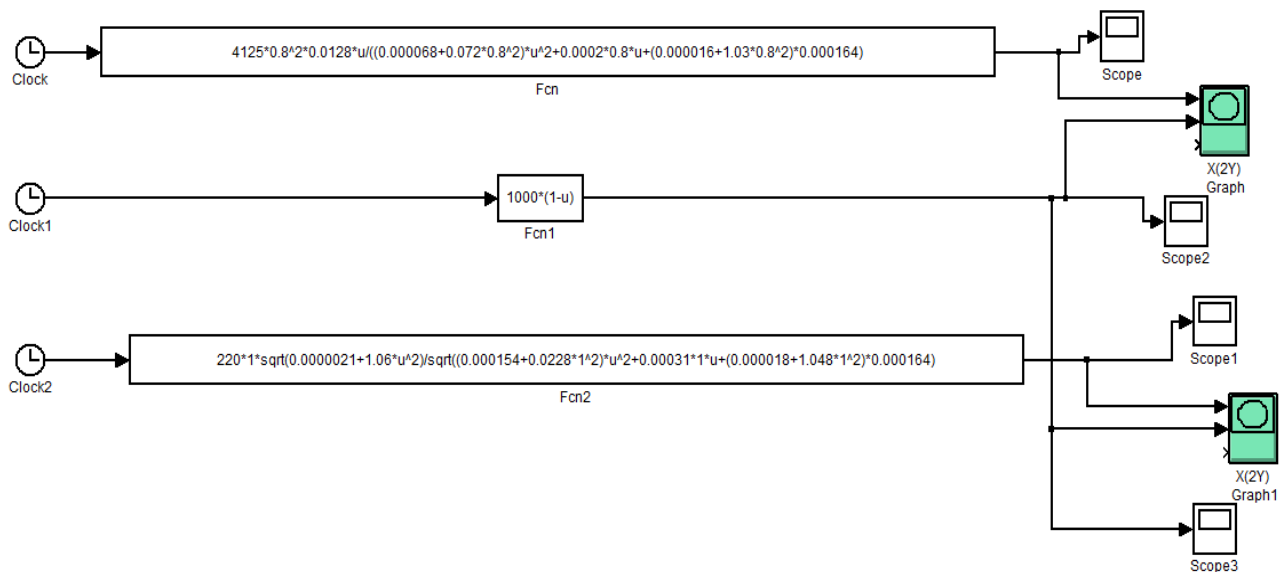
$$c = x_\mu \tau = 2 \cdot 0.0424 = 0.0848 ; d = \frac{r_1}{x_\mu} = \frac{0.008}{2} = 0.004 ;$$

$$e = 1 + \tau_1 = 1 + 0.018 = 1.018 ;$$

Şərti işarələrin qiymətlərini nəzərə alaraq I_1 , M və ω üçün aşağıdakı ifadələri yazaq:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 380 \gamma \sqrt{\frac{0.00004 + 1.049 S_m^2}{(0.000068 + 0.072 f_*^2) S_m^2 + 0.0002 f_* S_m + (0.000016 + 1.03 f_*^2) \cdot 0.000164}} \\ M &= 4125 \gamma^2 \frac{0.0128 S_m}{(0.000068 + 0.072 f_*^2) S_m^2 + 0.0002 f_* S_m + (0.000016 + 1.03 f_*^2) \cdot 0.000164} \\ \omega &= 105 (f_* - S_m) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

(14) ifadələrini Matlab/Simulink alt proqramından istifadə edərək hesablayaq. Hesablamaları şəkil 4-də təsvir edilmiş blok-sxem əsasında aparaq.



Şəkil 4. Matlab/Simulink paketində hesablanmanın aparılması blok-sxemi

Hesablama zamanı f_* və γ üçün cədvəl 1-dəki qiymətlərdən istifadə etmək olar. Lakin köməkçi sükan elektrik intiqalının işçi mexanizminin (oxlu nasosun) $M_s = f(\omega)$ asılılığı praktikada (13) ifadəsindən fərqlənir. Buna səbəb sürətin dəyişməsi ilə nasosun faydalı iş əmsalının böyük həddlərdə dəyişməsidir.

Bu dəyişənləri nəzərə almaq üçün oxlu nasosun universal işçi xarakteristikalarından istifadə edək. Oxlu nasosun bir sürət üçün işçi xarakteristikaları [1,2] -də verilmişdir. Oxşarlıq tənliklərindən [3] istifadə edərək başqa sürətlər üçün işçi xarakteristikaları quraq. Bu məqsədlə

$$Q = Q_n \left(\frac{n}{n_n} \right); \quad H = H_n \left(\frac{n}{n_n} \right)^2; \quad N = N_n \left(\frac{n}{n_n} \right)^3 \quad (15)$$

ifadələrindən istifadə edək. Burada n_n - nasosun nominal fırlanma sürəti;

Q_n , H_n , N_n - uyğun olaraq nasosun nominal sürətdə məhsuldarlığı təzyiqi və gücüdür. Hesablamaların nəticəsini cədvəl 2-yə yazaq.

Cədvəl 2

Q/Q_n	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	$n = n_n$
H/H_n	2,22	1,56	1,4	1,28	1,15	1,0	0,9	0,75	0,2	
Q/Q_n	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,9	0,99	1,08	1,26	$n = 0,9n_n$
H/H_n	1,8	1,26	1,13	1,04	0,93	0,81	0,73	0,61	0,162	
Q/Q_n	0	0,16	0,32	0,48	0,64	0,8	0,88	0,96	1,12	$n = 0,8n_n$
H/H_n	1,43	0,998	0,896	0,82	0,74	0,64	0,58	0,48	0,128	
Q/Q_n	0	0,14	0,28	0,42	0,56	0,7	0,77	0,84	0,98	$n = 0,7n_n$
H/H_n	1,09	0,76	0,69	0,63	0,56	0,49	0,44	0,37	0,098	
Q/Q_n	0	0,12	0,24	0,36	0,48	0,6	0,66	0,72	0,84	$n = 0,6n_n$
H/H_n	0,8	0,56	0,5	0,46	0,4	0,36	0,32	0,27	0,072	
Q/Q_n	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7	$n = 0,5n_n$
H/H_n	0,555	0,39	0,35	0,32	0,288	0,25	0,225	0,188	0,05	
Q/Q_n	0	0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,44	0,48	0,56	$n = 0,4n_n$
H/H_n	0,36	0,25	0,224	0,21	0,184	0,16	0,144	0,12	0,032	
Q/Q_n	0	0,06	0,12	0,18	0,24	0,3	0,33	0,36	0,42	$n = 0,3n_n$
H/H_n	0,199	0,14	0,13	0,12	0,1	0,09	0,081	0,07	0,018	

Şəkil 5-də cədvəl 2 əsasında nasosun müxtəlif fırlanma sürətləri üçün $H - Q$ xarakteristikaları çəkilmişdir. Burada eyni zamanda faydalı iş əmsalının nasosun məhsuldarlığından asılılıq əyrisi $\eta^*(Q^*)$ və hidravlik sistemin xarakteristikası $H^2 = Q^{*2}$ -da təsvir edilmişdir. Şəkil 5-də təsvir edilmiş universal işçi xarakteristikalardan istifadə edərək oxlu nasosu fırladan nominal gücü 400 kVt, nominal sürəti $n_n = 980$ dövr/dəq olan elektrik mühərriki üçün aşağıdakı parametrləri hesablayaq cədvəl 3-ə yazaq.

Cədvəl 3

n / n_n	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	Qeyd
$n, d/dəq$	980	882	784	686	588	490	392	294	196	$N_n = 400 \text{ kVt}$ $n_{0n} = 980 \text{ d/dəq}$ $\omega_{0n} = 104,7 \text{ 1/s}$ $U_{1n} = 380 \text{ V}$ $f_{n0} = 50 \text{ Hz}$
$(n / n_n)^2$	1	0,729	0,512	0,343	0,216	0,125	0,064	0,027	0,008	
N, kvt	220	160,4	112,6	75,5	47,5	27,5	14,1	5,91	1,76	
$n_{müh}$	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,935	0,93	0,92	
η_{nas}^*	1	0,98	0,94	0,87	0,8	0,7	0,6	0,47	0,3	
η_{nas}	0,88	0,86	0,83	0,77	0,7	0,62	0,53	0,414	0,264	
N_{el}, kvt	266	198,4	144,3	104,3	72,2	47,2	28,5	15,4	7,2	
M_{el}, Nm	2595	2150	1753	1449	1170,2	917	687	498,4	349,5	
M_{kr}, Nm	4125	3440	2805	2318	1872	1467	1099	794	559	
f_*	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	
γ	1	0,81	0,65	0,52	0,41	0,31	0,215	0,14	0,085	

Cədvəldəki hesabi parametrlər aşağıdakı ifadələr vasitəsilə hesablanmışdır.

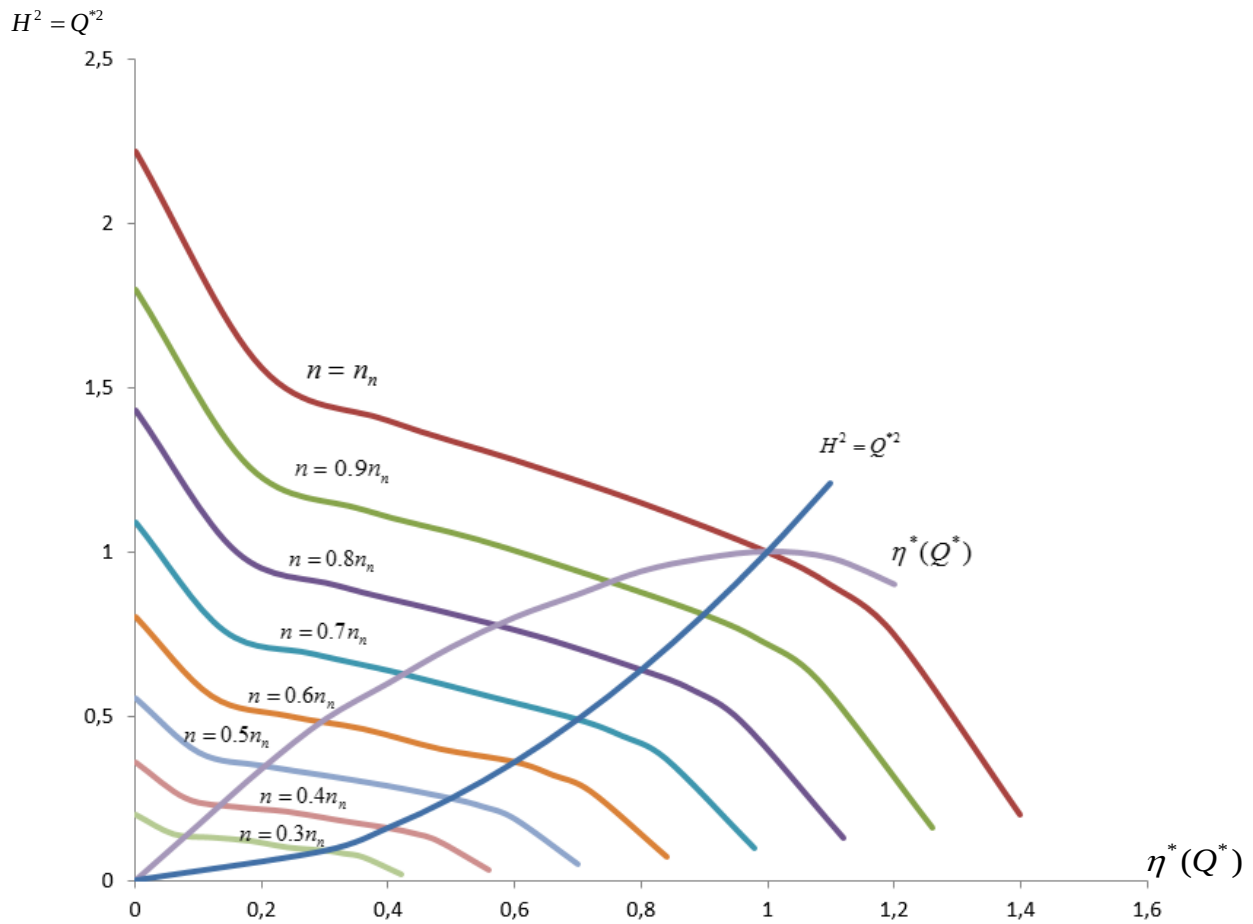
$$N = N_n \left(\frac{n}{n_n} \right)^3, \text{ kvt}; \quad \eta_{nas} = \eta_{nasnom} \eta_{nas}^* = 0,88 \eta_{nas}^*;$$

$$N_{el} = \frac{N}{\eta_{muh} \eta_{nas}}, \text{ kVt}; \quad M_{el} = \frac{30 N_{el}}{\pi n}, \text{ Nm};$$

$$M_{kr} = \lambda M_{el} = 1,6 M_{el}, \text{ Nm}; \quad f_* = \frac{f_1}{f_{1n}};$$

(8) ifadəsinə əsasən

$$\gamma = \sqrt{\frac{M_{kr} 2 \omega_{0n} f_* \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right] f_*^2}{3 U_{1n}^2}};$$



Şəkil 5. Aparılmış hesabın nəticələrinə əsasən nasosun H - Q xarakteristikası

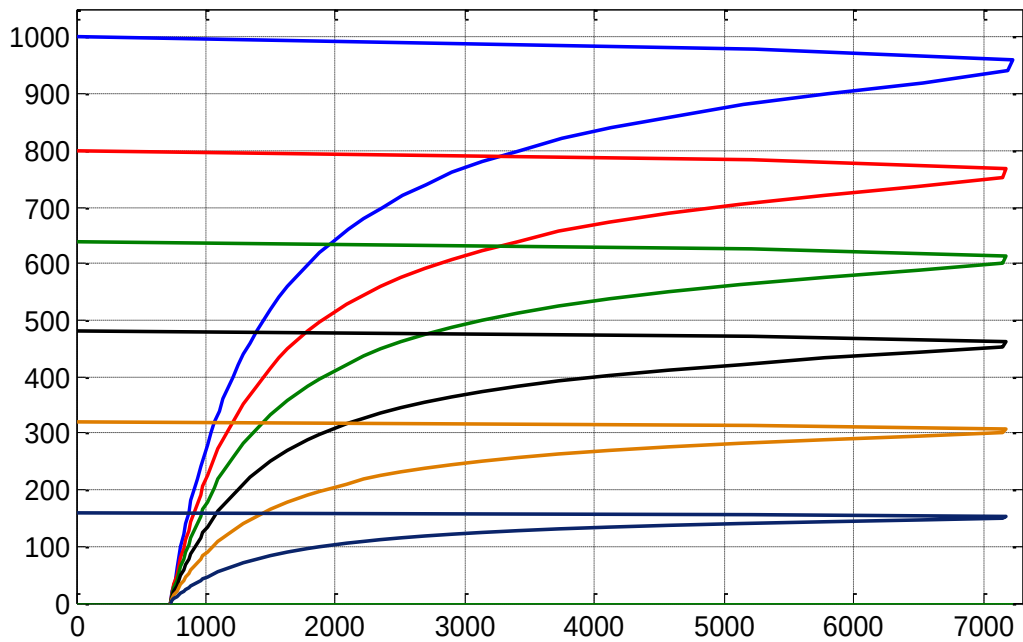
Şəkil 6-da (14) tənlilikləri əsasında tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün hesablanmış mühərrikin mexaniki xarakteristikaları və cədvəl 3-ə əsasən nasosun $M_s(n)$ asılılığı təsvir edilmişdir. Burada kiçik xəta ilə qəbul edilmişdir ki, $M_s \approx M_{el}$.

Şəkil 7-də (14) tənlilikləri əsasında tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün hesablanmış mühərrikin elektromexaniki xarakteristikaları $n(I_1)$ təsvir edilmişdir. Qurulmuş xarakteristikaların təhlili göstərir ki, $\frac{M_{kr}}{M_s} = const$ şərti daxilində mühərrikin sürətini müəyyən tənzim diapazonunda tənzim etmək olar. Lakin tezliyin hər hansı bir maksimal qiymətinə uyğun gələn mexaniki xarakteristikadan təbii mexaniki xarakteristikaya diskret keçid prosesi mühərrikdə cərəyanın təkanı ilə müşahidə olunur [7,8].

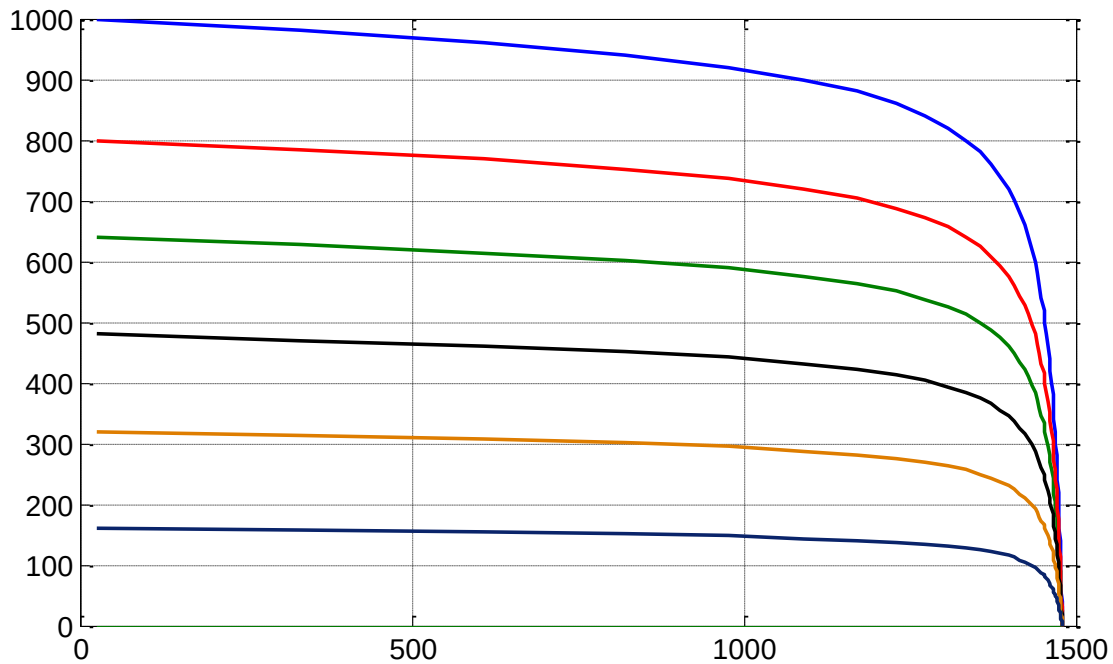
Ona görə də mühərrikdə cərəyanın bu təkanını azaltmaq üçün aşağıdakı tədbirlərin görülməsi təklif olunur:

1) Mühərrikin sürəti şəbəkəyə bir başa qoşulmuş tezlik çeviricisi ilə tənzim olunarsa, onda tezliyin maksimal qiymətinə uyğun gələn sürətdən sonra ($f = 30$ Hz) təbii mexaniki xarakteristikaya keçidi gərginliyi dəyişməklə həyata keçirilməlidir.

2) Mühərrikin sürəti matris tipli tezlik çevirici vasitəsilə həyata keçirilərsə, onda maksimal sürətdən sonra təbii mexaniki xarakteristikaya keçidi tezliyi və gərginliyi dəyişməklə həyata keçirilməli.



Şəkil 6. Tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün nasosun mexaniki xarakteristikaları



Şəkil 7. Tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün nasosun elektromexaniki xarakteristikaları

Nəticə. Beləliklə, gəmi köməkçi sükan qurğusunun elektrik intiqalının işə buraxılması və sürətinin tənzim olunması üçün istifadə oluna biləcək tezlik çeviricilərinin xüsusiyyətləri geniş təhlil olunmuşdur. Köməkçi sükan qurğusunun oxlu nasosunun universal ($H - Q$) xarakteristikaları qurulmuş və bu xarakteristikalar əsasında nasosun $M_s = f(n)$ asılılığının qurulması göstərilmişdir. Gəmi köməkçi sükan elektrik intiqalının effektiv idarə olunması üçün *matris tipli tezlik çeviricilərinin* istifadə olunması təklif edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. H. A. Mehdiyev, Z. Ə. Həsənov, T.H. Şabanov “Avtomatlaşdırılmış gəmi elektrik intiqalları”. Bakı, “Nurlan”, 2005-ci il, 358 səh.
2. Sultanov E.F., Abdullayev A.N. Müasir gəmi elektrik intiqalları, dərslik, Bakı, ADDA mətbəəsi, 2018 il.- 438 səh.
3. А. А. Суптель Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш, ун-та. 2000. 164 с.
4. Сидоров С. Матричный преобразователь частоты- объект скалярного управления, Силовая электроника, N3, 2009. - 5 ст.
5. Ю.А. Фролов, “В.Н. Хохловский (Редактор перевода)”. Руководства по решениям в автоматизации, “Shenider Electric”, Москва 2011, 323 стр.
6. В.И. Лихошерст «Полупроводниковые преобразователи электрической энергии с импульсным регулированием» Екатеринбург, УГТУ, 2000 г. 116 ст.
7. Sultanov E.F., Həsənov E.A., İsmayilov S.S., Mammadov E.M. Transient process of electrical drive of a ship mooring controlled by a frequency converter // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE). – 2023. Issue 56, Volume 15, Number 3, – p. 290-297.
8. Sultanov E.F., Məmmədov E.M. Həsənov E.A., İsmayilov S.S. Application of soft starting and braking for electrical drives of boom mechanism of shipboard cranes. // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE). – 2023. Issue 56, Volume 15, Number 3, – p. 303-308.

Məqalə qəbul olunub: 17.04.25
Təvsiyə edib: prof. Qafarov A.M.