

UOT 621.31

GƏMİ ELEKTRİK STANSİYASINDA GƏRGİNLİYİN VƏ TEZLİYİN ENMƏSİNİN ASINXRON ELEKTRİK İNTİQALLARINA TƏSİRİ

SULTANOV E.F., CƏLİLOV T.A.

*Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası Az1000
Bakı ş., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, turyancelil@gmail.com*

Məqalədə gəmi elektrik stansiyasında gərginliyin və tezliyin enməsinin asinxron elektrik intiqallarına təsiri araşdırılmışdır.

Açar sözlər: gəmi, elektrik stansiyası, gərginlik, tezlik, asinxronlaşmış sinxron generator.

Giriş. Gəmilərin elektroenergetika sistemləri çoxlu sayda işlədicilərini elektrik enerjisi ilə təmin edir. Onların təxminən 70%-i elektrik mühərrikləridir. Məlum olduğu kimi gəmilərdə elektrik enerjisi üçfazlı sinxron generatorlar vasitəsilə hasil olunur. Gəmi elektrik işlədicilərinin normal rejimdə işləməsi üçün gərginlik və tezlik nominal qiymətdə saxlanılmalıdır [1].

İşlədicilərin əksəriyyəti üçün gərginlik əyrisinin sinisoidal olmasının böyük əhəmiyyəti vardır. Üçfazlı işlədicilərin, məsələn asinxron mühərriklərin ayrı-ayrı faza gərginlikləri simmetrik olmalı, yəni fazalar arası sürüşmə 120° təşkil etməlidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, gəmi şəraitində göstərilən şərtlər heç də həmişə ödənilmir, gərginliyin və tezliyin qiymətləri nominaldan fərqlənir, gərginliyin sinisoidalığı və üçfazlı sistemin simmetriyası pozulur.

Əsas hissə. Elektrik avadanlığını idarə edən şəxslərin buraxdığı səhvlər və elektrik təchizatı sistemində baş verən qəzalar da enerjinin keyfiyyətinə mənfi təsir göstərir. Müasir gəmilərdə yarımkeçirici çeviricilərin tətbiqi ilə əlaqədar, hasil olunan gərginlik əyrisinin forması dəyişir və yaranan yüksək tezlikli harmonikalar elektron tipli idarə və yoxlama qurğularının işini çətinləşdirir. Cərəyanın yüksək tezlikli təşkilediciləri həmçinin elektrik dövrəsində əlavə itkilər yaradır [3].

Gəmi elektrik stansiyasının hasil etdiyi elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəriciləri:

Ümumiyyətlə elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinin sayı çoxdur və ən əsasları gəmi stansiyaları üçün norma şəklində verilir.

Onlar aşağıdakılardır:

1) Gərginliyin normal qiymətə nəzərən qərarlaşmış fərqi:

$$\Delta U_q = \frac{100(U - U_{nom})}{U_{nom}} \% \quad (1)$$

U - şinlərdə gərginliyin həqiqi qiyməti;

U_{nom} - nominal qiymətidir.

2) Tezliyin qərarlaşmış fərqi:

$$\Delta f_q = \frac{(f - f_{nom}) \cdot 100}{f_{nom}} \% \quad (2)$$

f - cərəyan tezliyinin həqiqi qiymətidir.

3) Üçfazlı şəbəkənin xətt gərginliklərinin qeyri bərabərlik əmsalı:

$$K_{qb} = \frac{(U_{\max} - U_{nom}) \cdot 100}{U_{nom}} \% \quad (3)$$

U_{\max} , U_{\min} - üçfazlı şəbəkənin xətt gərginliklərinin müvafiq olaraq ən böyük və ən kiçik qiymətləridir.

4) Gərginlik əyrisinin sinisoidalə fərqlənmə əmsalı:

$$K = \frac{\sqrt{\sum_2^n U_n^2}}{U_1} 100\% \quad (4)$$

U_n - gərginliyin n nömrəli harmonikasının, U_1 - əsas harmonikanın qiymətidir.

5) Gərginliyin qısa müddətli dəyişməsi:

$$\Delta U_{q.m} = \frac{(U_m - U_{nom})}{U_{nom}} 100\% \quad (5)$$

U_m - keçid prosesində dəyişmənin istiqamətindən asılı olaraq, gərginliyin maksimal və ya minimal qiymətidir, (U_m - ossilloqraf vasitəsilə təyin edilir).

6) Tezliyin qısa müddətli dəyişməsi:

$$\Delta f_{q.m} = \frac{(f_m - f_{nom})}{f_{nom}} 100\% \quad (6)$$

f_m - keçid prosesində dəyişmənin istiqamətindən asılı olaraq, tezliyin maksimal və ya minimal qiymətidir.

Axırıncı iki bənddə, uyğun olaraq, gərginliyin və tezliyin yeni qərarlaşmış qiymətə qayıtma müddəti də nəzərə alınır [1].

Gəmi elektrik stansiyasında hasil olunan elektrik enerjisi əsas olaraq elektrik intiqallarının mühərrikləri tərəfindən istifadə olunur. Hazırda gəmilərdə geniş miqyasda rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikləri tətbiq edilir.

Məlum olduğu kimi, asinxron mühərrikin hasil etdiyi moment gərginliyin kvadratına mütənasibdir. Ona görə də gərginliyin aşağı düşməsi rotor sürüşməsinə (S) artırır, momentlə (M) fırlanma sürətinin (n) isə azalmasına səbəb olur. Nəticədə mühərrikin cərəyanı və itkiləri, dolaqların temperaturu artır, f.i.ə. azalır, izolyasiyanın ömrü qısalır.

Gərginliyin aşağı enməsi elektrik mühərrikinin hərəkətə gətirdiyi mexanizmin məhsuldarlığını aşağı salır. Bunu aşağıdakı ifadələrdən də görə bilərik [4].

Asinxron mühərrikdə rotorun yaratdığı elektromaqnit moment, onun elektromaqnit gücünə görə tapıla bilər:

$$M = \frac{P_{em}}{\omega_1} \quad (7)$$

Elektromaqnit güc rotordakı elektrik itgilərinə görə təyin olunur:

$$P_{em} = \frac{\Delta P_{el2}}{S} = m_1 (I_2')^2 \frac{r_2'}{S} \quad (8)$$

Maqnitlənmə konturu sıxaqlara çıxarılmış əvəz sxemindən məlumdur ki:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + C_1 \frac{r_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2}} \quad (9)$$

$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$ qoyaraq yuxarıdakı üç ifadəni birlikdə həll edib, asinxron maşının elektromaqnit moment düsturunu alırıq:

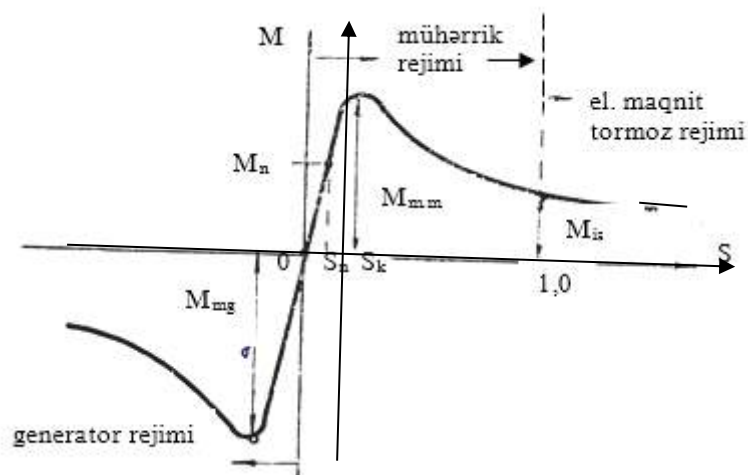
$$M = \frac{m_1 p U_1^2 \frac{r_2'}{S}}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + C_1 \frac{r_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2 \right]} \quad (10)$$

Göründüyü kimi, elektromaqnit moment ifadəsinə bir sıra kəmiyyətlər daxildir: $U_1, f_1, r_1, r_2', X_1, X_2', C_1$ və S . Asinxron mühərrikində bu kəmiyyətlərin bir qismi sabitdir:

$$m_1, f_1, r_1, X_1, X_2', C_1 = const$$

Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikdə sadəlik üçün səthə sıxılma effekti nəzərə alınmasa r_2' -i də sabit qəbul etmək olar.

Onda maşının elektromaqnit momenti əsas etibarilə gərginlikdən (U_1) və sürüşmədən (S) asılıdır.



Şək.1. Asinxron mühərrikin moment xarakteristikası.

Elektromağnit momentin sürüşmədən asılılığına asinxron maşının moment xarakteristikası və yaxud mexaniki xarakteristikası deyilir. Şəkil1-də asinxron maşının moment xarakteristikası, yəni $M=f(S)$ asılılığı verilmişdir. Bu xarakteristikanı təhlil edək.

İfadənin (10) sürət və məxrəcində S vardır. Bu o deməkdir ki, asılılıq ekstremuma (maksimuma və minimuma) malikdir. Xarakteristikanın belə nöqtələrini təyin etmək üçün aşağıdakı əməliyyatları apararaq:

$$\frac{dM}{dS} = 0$$

buradan maksimum qiymətə uyğun kritik sürüşməni tapırıq:

$$S_k = \pm \frac{C_1 r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2}} \quad (11)$$

Kritik sürüşmənin qiymətini elektromağnit moment ifadəsi (10) də yerinə qoyub maksimal momentin ifadəsini təyin edirik:

$$M_m = \pm \frac{m_1 p U_1^2}{4\pi f_1 C_1 \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2} \right]} \quad (12)$$

Bu ifadələrdəki müsbət işarəsi maşının mühərrik rejiminə, mənfi işarəsi isə generator rejiminə uyğun gəlir.

Normal asinxron maşınlarda $C_1 \approx 1.0$ qəbul edib r_1 -i çox kiçik olduğu üçün nəzərdən ataraq, kritik sürüşmənin və maksimal momentin sadələşdirilmiş ifadələrini alırıq:

$$S_k \approx \pm \frac{r_2'}{X_1 + X_2'} = \pm \frac{r_2'}{X_k} \quad (13)$$

$$M_m \approx \pm \frac{m_1 p U_1^2}{4\pi f_1 (X_1 + X_2')} = \pm \frac{m_1 p U_1^2}{4\pi f_1 X_k} \quad (14)$$

(13) və (14) ifadələrindəki $X_k = X_1 + X_2'$ asinxron mühərrikin qısa qapanma induktiv müqaviməti adlanır, $\omega_1 = 2\pi f_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$ maqnit sahəsinin bucaq sürətidir.

Normal asinxron mühərriklərdə kritik sürüşmə $S_k = 0.08 \div 0.16$ olur.

Yuxarıdakı ifadələrin təhlili göstərir ki, asinxron maşının elektromağnit momenti stator sıxaclarına verilmiş gərginliyin kvadratına düz mütənəsibdir, yəni gərginliyin dəyişməsinə çox həssasdır. Buna görə də yük altında işləyən mühərrikin gərginliyinin azalmasına yol verilməməlidir [4].

AM-nin mexaniki xarakteristikasının tənliyini almaq üçün onun əvəz sxemindən və elektromağnit momentinin ifadəsindən istifadə edilir. Mühərrikin rotorunda fırlanan maqnit

seli vasitəsilə enerji yaradılır və bu zaman mühərrikin rotoruna verilən elektromaqnit gücü aşağıdakı düstur ilə təyin olunur.

$$P_e = M_e \cdot \omega_o \quad (15)$$

Burada M_e - mühərrikin elektromaqnit momenti (N·m)-lə, ω_o -p fırlanan maqnit selinin bucaq sürətidir. Buna çox zaman sinxron sürətdə deyilir.

$$\omega_o = \frac{2\pi \cdot f_1}{P} \quad (16)$$

Burada f_1 - statora verilən cərəyanın tezliyi, P-mühərrikin cüt qütblərinin sayıdır. Rotora verilən elektromaqnit gücün bir hissəsi rotorun dolağında və poladında itir və qalan güc mexaniki güc şəklində rotorun valına ötürülür. Az olduğu üçün poladda yaranan itkini nəzərə almasaq mühərrikin valındakı güc aşağıdakı ifadə ilə təyin edilər.

$$P_2 = M_e \cdot \omega = M_e \cdot \omega_o - 3I_2^2 \cdot r_2 \quad (17)$$

Burada I_2 - rotorun bir fazasından axan cərəyanı, r_2 - isə aktiv müqaviməti göstərir.

$$M_e \cdot \omega = M_e \cdot \omega_o - 3I_2^2 \cdot r_2 \quad (18)$$

(18) düsturu sadələşdirib elektromaqnit momentin qiymətini

$$M_e = \frac{3I_2^2 \cdot r_2}{\omega_o - \omega} = \frac{3I_2^2 \cdot r_2}{S \cdot \omega_o} \quad (19)$$

Alınan formulada rotorun cərəyanı və aktiv müqaviməti həqiqi qiymətləridir və biz bunları köçürülmüş qiymətlərlə əvəz etsək alarıq

$$M_e = \frac{3J_2'^2 \cdot r_2'}{S \cdot \omega_o} \quad (20)$$

Mühərrikin əvəz sxeminə əsasən rotor cərəyanının köçürülmüş qiyməti aşağıdakı kimi tapıla bilər;

$$I_2' = \frac{U_f}{\sqrt{\left(r_1' + \frac{r_2'}{S}\right)^2 + X_k^2}} \quad (21)$$

$X_k = X_1 + X_2'$ - reaktiv qısa qapanma müqaviməti,
Elektromaqnit momentini valdakı mexaniki moment kimi qəbul edilib

$$M = M_e - \Delta M \approx M_e$$

21-ci düsturda cərəyanın qiymətini 20-ci düsturda yerinə yazmaq

$$M = \frac{3r'_2 U_f^2}{S\omega_o \left[\left(r_1^2 + \frac{r_2'^2}{S} \right)^2 + X_k^2 \right]} \quad (22)$$

Alınan ifadə mühərrikin valındakı fırlandırıcı momentin sürüşmədən asılılığını verir

$$M = f(S)$$

$\omega = \omega_o(1-S)$ düsturu ilə mexaniki xarakteristikaya $\omega = f(M)$ çevrilir.

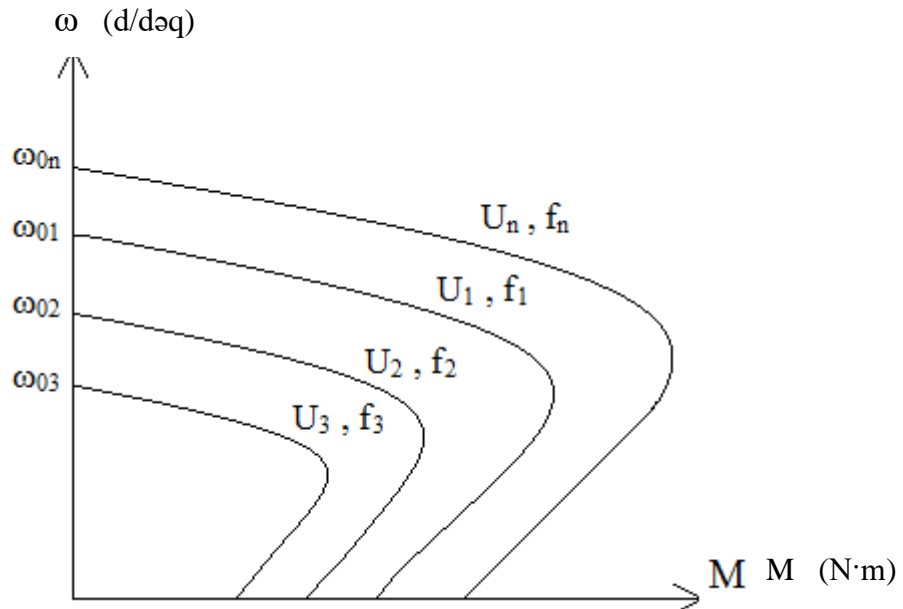
Bəzi hallarda (16) düsturla mexaniki xarakteristikanın qurulması çətin başa gəldiyindən (hesabat çox olduğundan və müqavimətlərin qiymətin tapmaq çətin olduğundan) mexaniki xarakteristikanı qurmaq üçün sadələşmiş düsturdan istifadə olunur. Bunun üçün (16) düsturundan istifadə edib mühərrikin kritik (maksimal) momentini və kritik sürüşməsinə tapırıq. Onların tapılmasında

$$\frac{dM}{dS} = 0$$

qəbul olunur və (16) düstur $\frac{dM}{dS}$ -üçün həll edilir və nəticədə alınır

$$S_k = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + X_k^2}} ; M_k = \frac{3U_f^2}{2\omega_o \left[r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + X_k^2} \right]} \quad (23)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, gəmi elektrik stansiyasının, sahil stansiyasına nisbətən əsas mənfi cəhəti böyük güclü işlədicilərin gücünün generatorların gücünə yaxın olmasıdır. Məsələn, yük kranları, yük nasoslari, köməkçi sükan qurğusu və başqa belə güclü işlədicilər işə buraxılarkən generatorun cərəyanının qəflətən sıçrayışla artması nəticəsində həmin generatora fırlanma hərəkəti verən birinci mühərrikin fırlanma sürətində azalır. Nəticədə gərginliyi ilə bərabər onun cərəyanının tezliyi də azalır. Bu zaman işləyən asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası aşağıdakı kimi olur (Şəkil 2).



Şək.2. Müxtəlif gərginlik və tezliklərdə asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikaları.

Bu vəziyyətdə asinxron elektrik mühərrikinin maksimal momenti ilə bərabər onun yüksüz işləmə fırlanma tezliyi ω_0 də azalır. Şəkil 2-də göstərilən mexaniki xarakteristikalar asinxron mühərrikin müxtəlif gərginlik və cərəyan tezliklərində qurulmuşdur. Bu xarakteristikaya əsasən demək olarki böyük güclü asinxron mühərriki işə buraxıldıqda işləyən generatorun düymələrindəki gərginliyin azalması ilə həmin generatora fırlanma hərəkəti verən birinci mühərrikin (məsələn dizelin) fırlanma sürəti də azalır, bu isə həmin generatordan enerji alan bütün işlədicilərin gərginliyinin və cərəyan tezliyinin azalmasına səbəb olur. Müasir gəmilərdə qurulan yarımkeçiricilərdən hazırlanmış gərginlik tənzimləyiciləri generatorun gərginliyini hiss olunmaz dərəcədə tez öz nominal qiymətinə qaytarırlar. Generatorun tezliyi isə onun özünün rotorunun və həmin rotora fırlanma hərəkəti verən mühərrikin ətalətindən asılıdır. Daha doğrusu hasil olunan gərginliyin əvvəlki qiymətinə qaytarılması ani olaraq yerinə yetirilirsə, cərəyan tezliyinin əvvəlki qiymətinə qaytarılması isə fırlanan hissələrin (generatorun və ilkin mühərrikin) ətalətlərinin cəmindən asılıdır. Bu səbəbdəndə generatorun fırlanma sürəti əvvəlki (nominal qiymətə) gecikmə ilə çatır. Bunun nəticəsində həmin generatordan elektrik enerjisi alan asinxron mühərrikləri müəyyən zaman müddətində alçaq sürətlə işləyirlər. Nəticədə asinxron mühərrikin gördüyü iş müəyyən qədər ləngiyir (gec başa çatır).

Bu hadisənin qarşısını almaq üçün yəni elektrik yükü tez-tez dəyişən gəmilərin elektrik stansiyasının sinxron generatorlarını asinxronlaşmış sinxron generatorları ilə əvəz etmək lazımdır. Bu generatorlarda rotorun fırlanma sürəti azaldıqda ani olaraq rotorunun dolaqlarına tezliyi rotorun fırlanma sürətinin azalmasına mütənasib olan dəyişən cərəyan verilir. Bu halda həmin dəyişən cərəyanın yaratdığı maqnit seli generatorun azalan tezliyinə mütənasib olaraq rotorun ətrafında fırlanır, nəticədə rotorun özünün sürəti və onun sarğılarına verilmiş dəyişən cərəyanın maqnit selinin sürəti toplanıb sinxron fırlanma sürətini verir [2].

Beləliklə, rotorun fırlanma sürəti sinxron az olduğu halda asinxronlaşmış sinxron generatorunda rotorun dolaqlarına verilən dəyişən cərəyanın hesabına statordan alınan cərəyanın tezliyi nominala bərabər olur.

Asinxronlaşmış sinxron generatorları küləkdən fırlanma hərəkəti alan generatorlarda çoxdan tətbiq edilir, gəmi val generatorlarında isə axır zamanlarda gəmiqayıрма sənayesi üzrə qabaqcıl Avropa ölkələrində tətbiq edilir [2].

Nəticə:

Gəmi sinxron generatorlarının düymələrindəki gərginlik və cərəyan tezliyi azalarsa həmin generatordan qidalanan asinxron mühərriklərin fırlanma sürəti azalacaqdır. Nəticədə həmin asinxron mühərriklərin gördüyü işin miqdarı azalacaqdır. Bu hadisənin tam qarşısını almaq ancaq həmin gəmilərdə (elektrik yükü tez-tez və çox dəyişən gəmilərdə) sinxron generatorlarını asinxronlaşmış sinxron generatorları ilə əvəz etməklə mümkündür.

-
1. *Mehdiyev H. A.* Gəmilərin avtomatlaşdırılmış elektroenergetika sistemləri. Ali məktəb tələbələri üçün dərslik. Bakı: "Nurlan", 2006, 340 s.
 2. *Mehdiyev H.A., İsmayilov S.S.* Asinxronlaşmış sinxron generatorlarının əsas xüsusiyyətləri və gəmilərdə tətbiqi. "Energetikanın problemləri" №1, Bakı, 2015-ci il.
 3. *Лёмин П.А., Пруссаков А.В., Григорьев А.В.* Эксплуатация судовых систем электроснабжения. Учебное пособие Санкт-Петербург: ГМА им. Адм. С.О.Макаров, 2009г, 180с.
 4. *Osmanov S.C.* "Elektrik maşınları" II hissə, dərslik. Bakı - 2010, 256 səh.

**ВЛИЯНИЕ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ НА
АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ КОРАБЛЯ**

СУЛТАНОВ Е.Ф. ДЖАЛИЛОВ Т.А.

В статье рассмотрены вопросы воздействия снижения напряжения и частоты тока СЭС на работу асинхронных электроприводов.

Ключевые слова: судно, электрическая станция, напряжение, частота, асинхронизированный синхронный генератор.

**INFLUENCE OF VOLTAGE AND FREQUENCY DECREASE ON
ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES IN SHIP POWER STATIONS.**

SULTANOV E. F., CALILOV T.A.

In this article has been offered the impact of reducing the voltage and frequency of ship power plants operation of asynchronous electric drives.

Keywords: ship, power station, voltage, frequency, asynchronized synchronous generator.