

UOT 621.31

GƏMİ ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ GƏRGİNLİYİN DƏYİŞMƏSİNİN ASINXRON MÜHƏRRİKLƏRİN İTKİLƏRİNƏ TƏSİRİNİN TƏDQIQI

Cəlilov T.A., Sultanov E.F., İsmayılov S.S.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18

E-mail: turyan777@mail.ru, elshen_sultanov@mail.ru, sahib-ismayil@bk.ru

Xülasə. Məqalədə gəmi elektrik şəbəkələrində gərginliyin dəyişməsinin qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərrikin itkilərinə təsiri tədqiq edilmişdir. Şəbəkə tezliyinin nominal qiymətlərində asinxron mühərrikin artıq yüklənmə qabiliyyətinin artması, tezliyin nominaldan kiçik qiymətlərində isə bu kəmiyyətin sabit qalması qeyd edilmişdir.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы влияния изменения напряжения судовой электрической сети на потери в асинхронном двигателе. Указано повышение перегрузочной способности асинхронного двигателя при номинальном значении частоты сети, а также отмечено сохранение стабильности этой величины при снижении частоты сети ниже номинальной.

Abstract. The tasks of impact of voltage changes ships electrical networks on losses in asynchronous motor were researched in the article. The overloaded capacity of the asynchronous motor was indicated at the nominal significance of network, as well as, the preservation of the overloaded capacity of reducing frequency of the network lower than nominal.

Açar sözlər: gəmi, şəbəkə, gərginliyin dəyişməsi, asinxron mühərrik, itkilər

Ключевые слова: судно, сеть, переменное напряжение, асинхронный двигатель, потери

Key words: ship, network, convertiv voltage, asynchronous motor, losses

Giriş. Cərəyanın növündən asılı olaraq elektrik maşınları sabit və dəyişən cərəyan maşınlarına ayrılırlar. Öz növbəsində dəyişən cərəyan maşınları isə elektromaqnit sisteminin xüsusiyyətlərindən asılı olaraq asinxron, sinxron və kollektorlu maşınlara bölünür. Gücə görə isə elektrik maşınları şərti olaraq mikromaşınlar, kiçik, orta və böyük maşınlar ayrılır.

Müasir elektrik maşınlarında enerjinin bir şəkildən digərinə çevrilməsi maqnit sahəsi vasitəsilə əldə edilir. Bunlara induktiv maşınlar deyilir [1].

Mümkün qədər daha böyük güclü maqnit sahələri almaq üçün müasir elektrik maşınlarında onların ayrılmaz hissələri olan ferromaqnit nüvələr tətbiq edirlər.

Maqnit sahəsi dəyişən olduqda burulğanlı cərəyanları zəiflətmək və onların törətdiyi enerji itkilərini azaltmaq məqsədilə, nüvələr elektrotexniki polad vərəqlərdən hazırlanır.

Elektrik maşınlarının ən əsas hissələrindən biri də cərəyan keçirən materialdan hazırlanmış dolaqdır. Dolaqların elektrotexniki izolyasiyası üçün müxtəlif elektrik izolyasiya materialları tətbiq edilir.

Bütün elektrik maşınları çevriləbilmə (dönmə) qabiliyyətinə malikdir, yəni hər bir elektrik maşını həm generator, həm də mühərrik kimi işləyə bilər.

Elektrik maşınları işləyərkən mütləq enerji itkisi yaranır. Belə ki, hər bir maşının aldığı güc onun verdiyi faydalı gücdən böyük olur. Yəni maşının f.i.ə. 100% -dən kiçik alınır. İş zamanı yaranan itkilər istiliyə çevrilir və maşının ayrı-ayrı hissələrinin qızmasına səbəb olur [1].

Əsas hissə. Asinxron maşının iş prinsipi elektromaqnit induksiya və elektromaqnit qüvvə qanunlarına əsaslanmışdır. Hər bir elektrik maşını kimi, asinxron maşın da iki əsas hissədən ibarətdir: tərpənməz hissə–stator, fırlanan hissə–rotor. Statorda üçfazlı dolaq yerləşdirilir. Bəzi

hallarda stator dolağı birfazlı və yaxud ikifazlı, ümumi halda isə çoxfazlı da ola bilər. Normal rejimdə rotorda qısa qapanmış dolaq vardır.

Stator dolağını üçfazlı cərəyan mənbəyinə qoşduqda fırlanan maqnit sahəsi yaranır. Sahə statordan, statorla rotor arasındakı hava aralığından və rotordan qapanır. Sahənin fırlanma tezliyi (sürəti) stator cərəyanının tezliyi və stator dolağının cüt qütblər sayı ilə təyin olunur:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}(1-S) \quad (1)$$

Asinxron mühərrikin rotorunun yaratdığı elektromaqnit moment elektromaqnit gücünə görə tapılır:

$$M = \frac{P_{em}}{\omega_1} \quad (2)$$

Elektromaqnit güc rotordakı elektrik itgilərinə görə təyin olunur:

$$P_{em} = \frac{\Delta P_{el2}}{S} = m_1 (I_2')^2 \frac{r_2'}{S} \quad (3)$$

Maqnitlənmə konturu sıxaqlara çıxarılmış əvəz sxemindən məlumdur ki:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + C_1 \frac{r_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2}} \quad (4)$$

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

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 \frac{r_2'}{S}}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + C_1 \frac{r_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2 \right]} \quad (5)$$

Göründüyü kimi, elektromaqnit moment ifadəsində bir sıra dəyişən U_1, r_2', S və verilmiş maşın üçün $m_1, f_1, r_1, X_1, X_2', C_1 = const$ olan kəmiyyətlər mövcuddur.

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 [1, 2].

Gəmi elektrik şəbəkəsində gərginliyin qiyməti tez-tez dəyişir. Deməli, elektromaqnit moment həm sürüşmənin, həm də gərginliyin funksiyasıdır.

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

$\frac{dM}{dS} = 0$ qəbul etsək, buradan maksimum qiymətə uyğun kritik sürüşməni tapırıq:

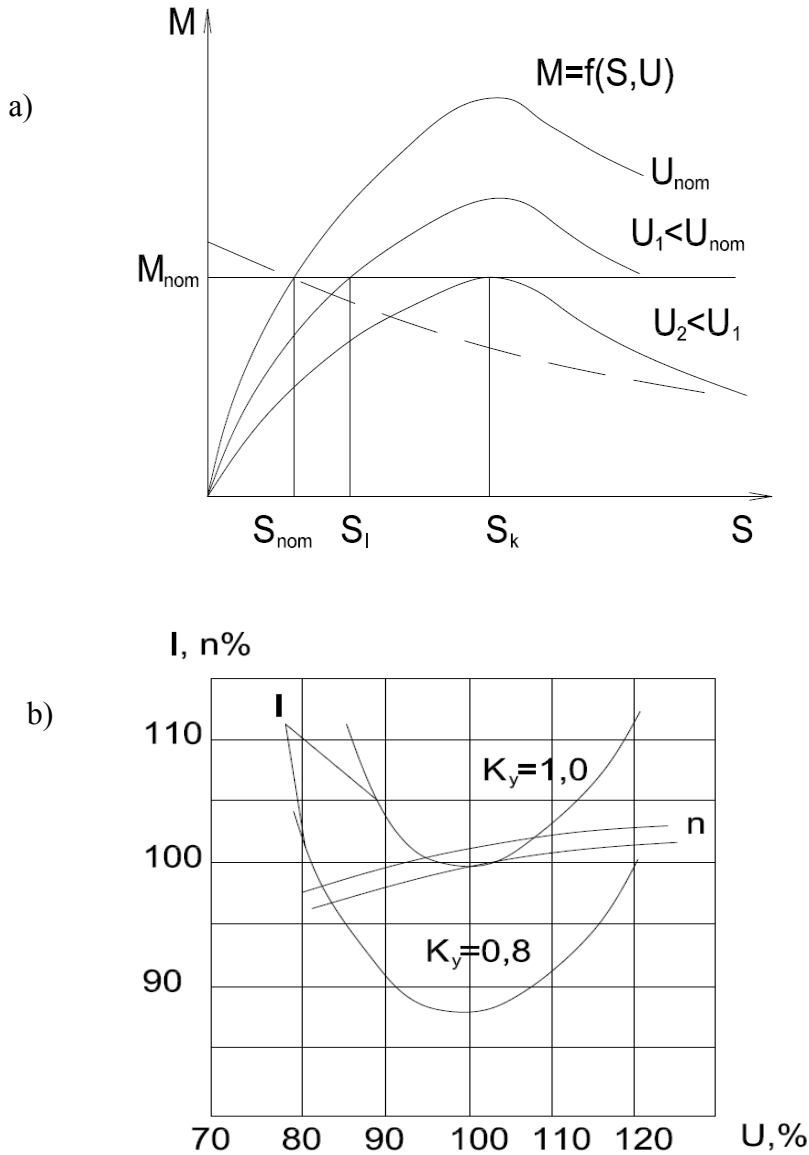
$$S_k = \pm \frac{C_1 r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2}} \quad (6)$$

Kritik sürüşmənin qiymətini elektromaqnit moment ifadəsi (5) də yerinə qoyub maksimal momentin ifadəsini təyin edirik:

$$M_m = \pm \frac{m_1 p U_1^2}{4\pi f_1 C_1 \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2} \right]} \quad (7)$$

Asinxron mühərrikin hasil etdiyi moment gərginliyin kvadratına mütənasibdir. Ona görə də gərginliyin aşağı düşməsi rotor sürüşməsini artırır, momentlə fırlanma sürətinin isə azalmasına səbəb olur (şəkil 1a). Nəticədə mühərrikin cərəyanı və itkiləri, dolaqların temperaturu artır, f.i.ə. azalır, izolyasiyanın ömrü qısalar [2, 3].

Şəbəkədə gərginliyin aşağı enməsi elektrik mühərrikinin hərəkətə gətirdiyi mexanizmin məhsuldarlığını azaldır. Enmə 30% -ən çox olduqda, mühərrikin gərginlik altında dayanması baş verə bilər (şəkil 1a, $U_2 < U_1$ əyrisi). Bəzi hallarda qısamüddətli gərginlik enmələri nəticəsində, idarə aparatlarının işçi vəziyyətdən çıxmasına görə də elektrik mühərriki dayana bilər. Gərginliyin nominaldan yuxarı qalxması da arzuolunmazdır, çünki bu halda mühərrikdən artıq cərəyan keçir və o normadan artıq qızır (şəkil 1b).



Şəkil 1. Gərginlikdən asılı olaraq asinxron mühərrikin parametrlərinin dəyişməsin qrafiki

Məlumdur ki, tam yüklənməmiş asinxron mühərriklərdə valdakı yükün kiçik qiymətlərində nominal gərginliyin verilməsi maqnitlənmə cərəyanının artmasına səbəb olur, nəticədə mühərrikin energetik göstəriciləri pisləşir. Bunları nəzərə alaraq məqalədə tam yüklənməmiş asinxron mühərrikin statoruna verilən gərginliyin yükəndən asılı olaraq dəyişmə qanunu verilmişdir. Ümumi halda dəyişən cərəyan elektrik qurğularında itkilər: polad, mis və mexaniki itkilərə bölünür. Ümumi dövrənin ayrı-ayrı elementlərindəki itkilər, dövrənin parametrlərindən yükün qiymətindən, xarakterindən və şəbəkə gərginliyindən asılıdır [4, 5].

Ümumi halda yazı bilirik:

$$\Delta P = f(I, U, Z) \quad (8)$$

Burada: ΔP - dövrədəki itki, I , U - uyğun olaraq dövrədən axan cərəyan və şəbəkə gərginliyidir, Z - dövrənin tam müqavimətidir.

Məlum olduğu kimi $Z=U/I$ olduğundan (8) ifadəsini aşağıdakı kimi yazı bilirik:

$$\Delta P = f(I, U, Z) = \Delta P_p + \Delta P_m = k_1 U^2 + k_2 I^2 \quad (9)$$

burada: ΔP_p - qurğudakı polad itkisidir. Bunun qiyməti sabit tezlikdə doymamış poladda gərginliyin kvadratına mütənəasib dəyişir. ΔP_m - qurğunun mis itkisidir.

Qurğunun aktiv yükü dəyişmədikdə güc əmsalı dəyişərsə yenədə bütün qurğuda itkilər dəyişir. Yük itkisinin güc əmsalından asılı olaraq dəyişməsi dərəcəsini tapmaq üçün yazı bilirik:

$$\frac{P_m}{P_{mn}} = \frac{k I_a^2 \cos^2 \varphi}{k I_a^2 \cos^2 \varphi_n} = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi_n} \quad (10)$$

Şəbəkə gərginliyi dəyişərkən elektrik qurğularındakı itkilərin necə dəyişməsi böyük marağa səbəb olur. Yuxarıda göstərilmiş (9) ifadəsindən istifadə edərək nisbi qiymətlərlə yazı bilirik:

$$\Delta P = \Delta P_p + \Delta P_m = k_1 U_n^2 \cdot U^2 + k_2 I_n^2 \cdot i^2$$

k_1 və k_2 əmsallarını təyin edək:

$$\Delta P_{pn} = k_1 U_n^2 \cdot U^2 \text{ və } \Delta P_{mn} = k_2 I_n^2 \cdot i^2$$

ifadəsində $U=1$ olduqda,

$$\Delta P_{pn} = k_1 U_n^2 \text{ və buradan da } k_1 = \frac{\Delta P_{pn}}{U_n^2}$$

bu qayda ilə $i=1$ olduqda,

$$\Delta P_{mn} = k_2 I_n^2 \cdot i^2 \text{ və buradan da } k_2 = \frac{\Delta P_{mn}}{I_n^2}$$

Burada: ΔP_{pn} - nominal gərginlikdə qurğunun polad itkisidir, ΔP_{mn} - nominal cərəyanda qurğunun mis itkisidir, k_1 və k_2 əmsalları üçün tapılmış ifadələri ümumi itki ifadəsində yerinə yazsaq (nəzərə alsaq ki, $i = \frac{\beta \cos \varphi_n}{U \cos \varphi}$) alırıq

$$\Delta P = \Delta P_{pn} U^2 + \Delta P_{mn} i^2 = P_{pn} U^2 + P_{mn} \cos^2 \varphi_n \frac{\beta}{U^2 \cos^2 \varphi}$$

Burada qəbul etsək ki, $a = \Delta P_{pn}$; $b = \Delta P_{mn} \cos^2 \varphi_n$ (11)

alırıq
$$\Delta P = a U^2 + b \frac{\beta}{U^2 \cos^2 \varphi} \quad (12)$$

Bu ifadənin gərginliyə görə birinci tərtib törəmisini alıb sıfıra bərabər etsək minimum itki halı üçün gərginliyin ifadəsini tapırıq:

$$\frac{d\Delta P}{dU} = 2aU - \frac{2b\beta^2}{U^3 \cos^2 \varphi} = 0$$

$$U = \sqrt[4]{\frac{b\beta^2}{a \cdot \cos^2 \varphi}} \quad (13)$$

Axırıncı ifadədən belə nəticə çıxarmaq olar ki, yüklənmə əmsalı nə qədər kiçik olarsa, minimal itki o qədər kiçik gərginlikdə alınır. İfadədən görüldüyü kimi, minimal itki alınan nisbi gərginliyin qiyməti eyni zamanda qurğunun güc əmsalından da asılıdır. Qurğunun güc əmsalı artdıqca minimal itki gərginliyin azalması istiqamətində sürüşür [5, 6].

Yuxarıda deyilənlərdən istifadə etməklə asinxron mühərrikdə gərginliyin dəyişməsinin mühərrikin itkilərinə təsirini nəzərdən keçirək. Məlumdur ki, asinxron mühərrikdə əsas itkilər yüksüz işləmə itkisi (əsasən polad itkisi) və mis itkisidir. Qalan itkilər nisbətən kiçik olduğundan nəzərdən atmaq olar.

Onda yazı bilərik:

$$\Delta P_{müh} = \Delta P_0 + \Delta P_m = k_1 U^2 + k_2 i^2$$

Bu ifadənin hər iki tərəfini k_2 -yə bölsək alırıq:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{müh}}{k_2} = \frac{k_1}{k_2} U^2 + i^2 = k u^2 + i^2$$

Buradan nisbi itki

$$\Delta P = (k + b) u^2 + \frac{a}{u^2} \quad (14)$$

ΔP - mühərrikdəki nisbi itki, $k = \frac{k_1}{k_2} = \frac{P_{pn}}{P_{mn}}$ - minimal gərginlikdə yüksüz işləmə itkisinin, nominal mis itkisinə olan nisbətidir.

Bu ifadəni gərginliyə görə differensiyallayıb sıfıra bərabər etsək minimal itkidə gərginliyin ifadəsini ala bilirik:

$$\frac{d\Delta P}{dU} = 2(k + b)u - \frac{2a}{u^3} = 0$$

buradan

$$U = \sqrt[4]{\frac{a}{k + b}} = \sqrt[4]{\frac{\beta^2 \cos^2 \varphi_n}{k + \sin^2 \varphi_n}}$$

Bu ifadələrin təhlili zamanı belə nəticəyə gəlmək olar ki, eyni yüklənmə əmsalında itkinin minimal qiyməti cərəyanın minimal qiymətinə nəzərən daha kiçik gərginlikdə alınır, belə ki,

$$U_{\Delta P_{min}} = \sqrt[4]{\frac{a}{k + b}} < U_{i_{min}} = \sqrt[4]{\frac{a}{b}}$$

burada

$U_{\Delta P_{min}}$ - minimal itkidə gərginliyin nisbi qiymətidir, $U_{i_{min}}$ - minimal cərəyanda gərginliyin nisbi qiymətidir [5, 6].

Nəticə. Məqalədə qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərrikin statorunda gərginlik dəyişdikdə, yüklənmə əmsalı olaraq itkilərin dəyişməsi araşdırılmış və gərginlikdən asılı ifadələr alınmışdır. Məlum olmuşdur ki, yüklənmə əmsalı nə qədər kiçik olarsa, minimal itki də bir o qədər kiçik gərginlikdə baş verir. Həmçinin, minimal itki alınan gərginlik mühərrikin güc əmsalından da asılıdır. Belə ki, asinxron mühərrikə verilən şəbəkə gərginliyi azaldıqda onun güc əmsalı artır. Nominal yüklə işləyən asinxron mühərrikin sıxaclarına verilən gərginlik azalan zaman rotorun sürüşməsi artır. Nəticədə mühərrikin yük cərəyanı artır və uyğun olaraq stator cərəyanının aktiv təşkiledicisi (I_R) artır, reaktiv təşkiledicisi (I_L) azalır. Cərəyanın induktiv təşkiledicisi isə şəbəkədə əlavə enerji itgiləri yaradaraq gəmi elektrik avadanlığının (elektrik mühərrikləri, kəbellər, generatorlar) qızmasına səbəb olur. Gəmi elektrik şəbəkəsində gərginliyin və tezliyin enməsinin qarşısını almaq üçün gəmi elektrik stansiyasının sinxron generatorunu asinxronlaşmış sinxron generatorla əvəz etmək təklif olunur.

Ədəbiyyat

1. Osmanov, S.C. Elektrik maşınları. II hissə, dərslik /S.C. Osmanov –Bakı, - 2010. -256 s.
2. Mehdiyev, H.A. Gəmilərin avtomatlaşdırılmış elektroenergetika sistemləri / H.A. Mehdiyev. - Bakı: Nurlan, -2006. -340 s.
3. Лёмин, П.А. Эксплуатация судовых систем электроснабжения. Учебное пособие/ П.А. Лёмин, А.В. Пруссаков, А.В. Григорьев, -Санкт-Петербург: ГМА им. Адм. С.О.Макаров, - 2009. -180 с.
4. Ключев, В.Н. Теория электропривода. / В.Н. Ключев -М.: Энергоатомиздат, -2011. -704 с.
5. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода/ Н.Ф. Ильинский. -М.: МЭИ, -2003 г. -224 с.
6. Воскобойник, В.Э. Основы электропривода производственных машин и комплексов / В.Э. Воскобойник, В.А. Бородай, -Днепропетровск: НГУ, -2015. -124 с.

Мəqalə qəbul olunub: 20.03.2020

Təvsiyə edib: t.e.d., prof. A.M.Qafarov