

UOT 62.83.52

GƏMİ ELEKTRİK MÜHƏRRİKLƏRİNİN FIRLANMA SÜRƏTLƏRİNİN TİRİSTOR GƏRGİNLİK TƏNZİMLƏYİCİLƏRİ İLƏ TƏNZİM OLUNMASININ ÜSTÜNLÜKLƏRİ

Sultanov E.F., Bayramova İ.P., Həsənov E.A.

“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ

Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18

E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, genclik76@mail.ru, hasanov.079@mail.ru

Xülasə. Məqalədə gəmi elektrik intiqallarının fırlanma sürətlərinin tənzim olunmasında tiristor gərginlik tənzimləyicilərinin müsbət cəhətləri qeyd edilmişdir. Həmçinin məqalədə tiristorların enerji itkisini hədsiz dərəcədə azaltmağa kömək edən effektiv açarlar kimi istifadə olunduğu, səssiz işləmə xüsusiyyətinə, yüksək dəqiqliklə və sürətlə gərginlik və cərəyanı tənzimləmə imkanına malik olması araşdırılmışdır.

Abstract. The article highlights the positive aspects of thyristor voltage regulators in regulating the rotational speeds of ship electrical drives. The article also examines the use of thyristors as effective switches that help to significantly reduce energy loss, their silent operation, and the ability to regulate voltage and current with high accuracy and speed.

Аннотация. В статье отмечены положительные стороны применения тиристорных регуляторов напряжения при регулировании частоты вращения судовых электропривод. Также рассмотрено применение тиристоров в качестве эффективных коммутаторов, позволяющих существенно снизить потери энергии, их бесшумность, а также возможность регулирования напряжения и тока с высокой точностью и быстродействием.

Açar sözlər: gəmi, elektrik intiqalı, asinxron mühərrik, fırlanma sürəti, tiristor, gərginlik tənzimləyicisi

Key words: ship, electric drive, asynchronous motor, rotation speed, thyristor, regulator voltage

Ключевые слова: судно, электропривод, асинхронный двигатель, скорость вращения, тиристор, регулятор напряжения

Giriş. Üçfazlı tiristor gərginlik tənzimləyiciləri dəyişən cərəyan dövrlərində gərginliyi tənzimləmək üçün geniş istifadə olunur. Bu tənzimləyicilərdə tiristorlar yarımkeçirici açarlar kimi

istifadə olunur, qapı impulsunun vaxtını dəyişərək dəyişən cərəyanda sinusoidal dalğanın müəyyən bir hissəsini keçirir və bununla da çıxış gərginliyini tənzimləyir. Bu texnologiya, ağır sənaye avadanlıqlarında istifadə olunan asinxron mühərriklərin gərginliyini tənzimləmək üçün səmərəli bir üsuldur.

Məlum olduğu kimi asinxron maşınlar dünyada ən çox inkişaf tapmış elektrik maşınlarıdır. Onlar əsas etibarı ilə elektrik mühərrikləri kimi xalq təsərrüfatının bütün sahələrində geniş miqyasda istifadə edilir və elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən ən əsas çeviricilərdir. Hazırda asinxron mühərriklər dünyada istehsal olunan elektrik enerjisinin yarıdan çoxunu sərf edir və əksər mexanizmlərin elektrik intiqalı kimi çox geniş tətbiq edilir. Buna səbəb asinxron mühərriklərin quruluşunun sadəliyi, başqa mühərriklərə nisbətən ucuz başa gəlməsi, etibarlı işləməsi və F.İ.Ə-nın yüksək olmasıdır. Çox nadir hallarda asinxron maşından elektrik generatoru kimi də istifadə olunur. Bundan başqa asinxron maşın gərginlik və faz tənzimləyicisi, tezlik və faz çeviricisi və s. bu kimi müxtəlif rejimlərdə də işlədilir [1,2].

Son vaxtlar məişət elektrik avadanlıqları üçün birfazlı asinxron mühərriklərin tətbiqi geniş vüsət almışdır. Hazırda texnikanın bir çox sahələrində müxtəlif modifikasiyalı asinxron maşınlar, o cümlədən, icra mühərrikləri, taxogeneratorlar, selsinlər, dönən (fırlanan) transformatorlar və s. geniş miqyasda tətbiq edilir. Son zamanlar dünyanın bir sıra ölkələrində asinxron maşınların istehsalına, istismarına və təkmilləşdirilməsinə böyük diqqət ayrılır.

Hal-hazırda asinxron mühərriklər dünyada istehsal olunan elektrik enerjisinin yarıdan çoxunu sərf edir və əksər mexanizmlərin elektrik intiqalında geniş tətbiq edilir. Təcrübələr göstərir ki, asinxron maşının generator rejimində istifadəsi nadir hallarda baş verir. Bundan başqa, asinxron maşın gərginlik və faza tənzimləyicisi, tezlik və faza çeviricisi və s. bu kimi müxtəlif rejimlərdə də işlədilir [1,2].

Əsas hissə. Gəmi elektrik intiqallarında tətbiq edilən üçfazlı qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərriklərində sürətin məhdud həddə tənzimlənməsinin və işə buraxma cərəyanının aşağı salınması üçün istifadə olunan üsullardan biri də stator dolağında gərginliyin tənzim olunmasıdır. Bu məqsədlə hazırda transformator tipli gərginlik tənzimləyicilərindən əlavə, tiristor gərginlik tənzimləyicilərindən də geniş istifadə olunur.

Ventilyasiya sisteminin hava sərfiyyatının dəyişməsi, nasosların məhsuldarlığının idarəedilməsi, qurğunun müəyyən hərəkət edən detallarının sürətlərinin tənzimlənməsi və məhsuldarlığın lazım olan səviyyəsi üçün mühərriklərin fırlanma sürətlərinin tənzimlənməsi zəruridir.

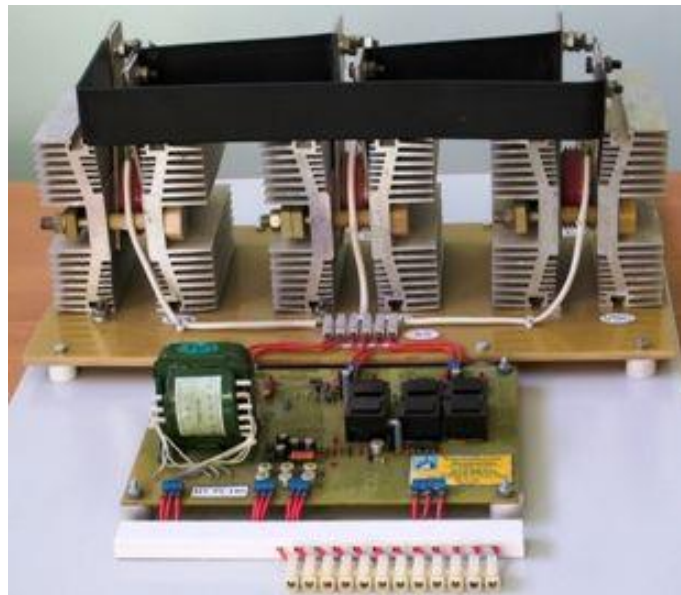
Baxmayaraq ki, istehsalatda mexanizmlərin fırlanma sürətlərini tez-tez tənzimləmək məqsədi ilə tezlik tənzimləyicilərindən geniş istifadə olunur, bu növ intiqal tənzimləyicilərin istismarında müəyyən çatışmazlıqlar mövcuddur.

Qeyri-sinusoidal formalı qidalandırıcı gərginliyin olduğu halda mühərrikdə yüksək harmonikalarla bağlı itkilər əmələ gəlir. Bu itkilərin azalması üçün tezlik tənzimləyicilərində xüsusi filtrlər və geniş impuls modulyasiyalı idarəetmə tətbiq edilir. Geniş impuls modulyasiyalı idarəetmənin tətbiqi zamanı çox sayda qoşma-açma əməliyyatları nəticəsində impulsların miqdarı artır və statorun, rotorun dolaqlarında artıq gərginliklər yaranır. Sadalanan proseslər tənzimləyicilərin tez sıradan çıxmasına səbəb olur. Tezlik tənzimləyicisinin əsas digər nöqsanlarından biri də yarımkeçirici açarların yüksək sürətdə işləməsindən tez sıradan çıxmasıdır. Bu da kommutasiya elementləri arasında yüksək gərginliklərin yaranmasına gətirir. Yüksək gərginliklər öz növbəsində isə yastıqlarda qılgıncıların yaranmasına və daha sonra onların sıradan çıxmasına gətirib çıxarır. Əlavə dolaqlarda qırılmalar, mühərrikdə səs və vibrasiyanın yaranması da baş verir. Tezlik tənzimləyicilərin tətbiqi xüsusi yanaşma tələb edir. Həmçinin bu qurğuların iqtisadi baxımdan çox bahalı olması bəzi tənzimlənmə mexanizmlərdə (yük nəqliyyatında, nasoslarda, ventilyasiya sistemində və s) tətbiqini məhdudlaşdırır [3,4,5].

Belə hallarda asinxron mühərriklərin fırlanma sürətlərinin tezliyini statora verilən gərginliyin qiymətini dəyişməklə daha sərfəli üsulla tənzimləmək mümkündür. Bunun üçün avtotransformator, tiristor gərginlik tənzimləyicisi və s. vasitələrdən istifadə etmək olar. Şəkil 1-də PCT seriyalı tiristor gərginlik tənzimləyicisinin görünüşü göstərilmişdir.

Tiristor gərginlik tənzimləyicilərinin digər tənzimləyicilərdən (avtotransformator, doyma drossel və s.) fərqli bir neçə üstünlükləri vardır: tez təsiredici qabiliyyətin olması, f.i.ə.-nin yüksək olması, ucuz dəyərə malik olması, tənzimlənmə xarakteristikasının sərt və axınlı olması və s. Üçfazlı dövrədə hər bir fazaya qarşılıqlı-parallel sxemdə iki tiristor qoşulur və bununla da yük cərəyanının şəbəkənin U_1 gərginliyində iki yarımperiodda axmasına şərait yaradılır.

Tiristor gərginlik tənzimləyiciləri ilə gərginliyi U_{nom} **sıfıra** qədər tənzimləmək mümkündür. Stator gərginliyinin forması qeyri-sinusoidal olduqda T tiristor gərginlik tənzimləyicilərinin tətbiqi kritik sürüşmənin qiyməti böyük olan maşınlarda daha sərfəlidir.



***Şəkil 1.** PCT seriyalı tiristor gərginlik tənzimləyicisinin görünüşü*

Tiristor gərginlik tənzimləyiciləri elektrik mühərriklərinin fırlanma sürətini və momentini tənzim etmək üçün nəzərdə tutulmuş qurğulardır. Fırlanma sürəti və moment mühərrikin stator dolağına verilən gərginliyin və tiristorların açılma bucağının dəyişdirilməsi ilə tənzimlənir. Elektrik mühərrikinin idarə olunmasının bu üsulu faz idarə olunma adlanır. Bu üsul parametrik (amplitud) idarə olunmanın bir növüdür [6,7].

Tiristor gərginlik tənzimləyiciləri açıq və qapalı tənzim olunan sistemli hazırlana bilər. Açıq sistemli tənzimləyicilər qənaətbəxş sürət tənzimini təmin etmir. Onların əsas təyinatı dinamik proseslərdə intiqalın lazımı iş rejiminə nail olması üçün momenti tənzimləməkdir. Qapalı sistemli tənzimləyicilər adətən sürətə görə mənfi əks əlaqə ilə istifadə olunurlar ki, bu da aşağı sürət zonasında kifayət qədər sərt mexaniki xarakteristikalara malik olmağa imkan verir.

Tiristor tənzimləyicilərinin faza rotorlu asinxron mühərriklərinin fırlanma sürətinin və momentin tənzimlənməsində istifadə olunması ən effektiv sayılır.

Asinxron mühərrikin sürətini tənzimləmək üçün tiristorlar stator və ya rotor dövrəsinə qoşulurlar. *Birinci* halda, onlar vasitəsi ilə stator dolağına verilən sinusoidal gərginliyin amplitudasını (faza tənzimlənməsi) və ya tezliyini (tezlik tənzimlənməsi) tənzimləməklə mühərrikin valında fırlandırıcı momenti və onun fırlanma sürətini dəyişmək olur.

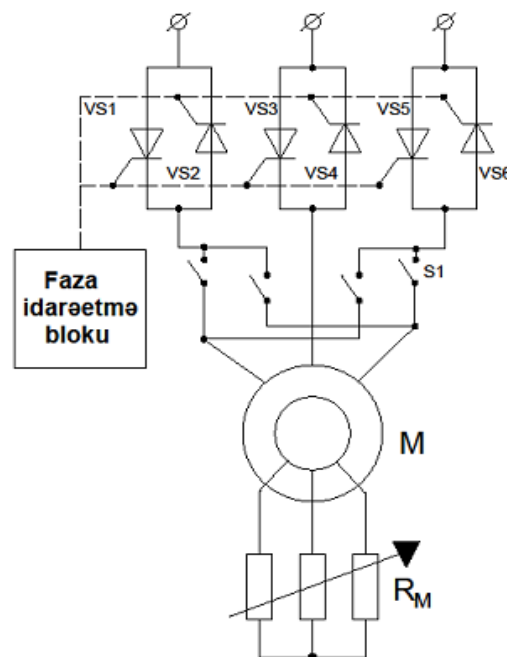
$$M = \frac{2M_m}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}; \quad n_2 = \frac{60f(1-s)}{p}$$

İkinci halda, rotor dövrəsinin aktiv müqavimətini dəyişməklə kritik sürüşməni dəyişdirərək onun fırlanma sürətini tənzimləmək mümkündür.

$$s_k = \frac{R'_2 + R'_M}{X'_2}.$$

Şəkil 2-də, M asinxron mühərrikinin stator dövrəsinin hər bir fazasında iki əks-paralel tiristorlu VS1; VS2; VS3; VS4; VS5; VS6 dəyişən gərginlik tənzimləyicisinin sxemi göstərilir.

İki əks qoşulmuş tiristorun əvəzinə (məsələn VS1, VS2) bir simistor da qoşula bilər. İdarəetmə qurğusu tiristorları faza ardıcılığı ilə sinxron açır. Şəbəkənin faza gərginliyinin sıfırdan keçmə anına nisbətən tiristorların açılma anını (VS1-VS6) dəyişdirərək əsas harmonikanın gərginlik amplitudasını tənzimləmək mümkündür [7,8].



Şəkil 2. Asinxron mühərrikin stator dövrəsinin hər bir fazasında əks-paralel qoşulmuş tiristorlu gərginlik tənzimləyicisinin sxemi

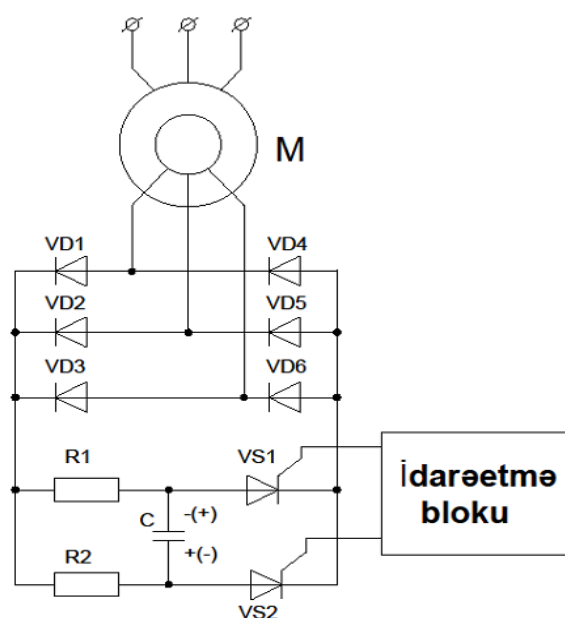
Tiristorların açılması faza idarəetmə blokundan tiristorların İE (idarəolunan elektroduna) idarəolunan impulsları göndərməklə həyata keçirilir. Müvafiq faza gərginliyinin polyarlığı dəyişdikdə tiristorlar avtomatik olaraq qapanırlar. Bu rejim təbii kommutasiya adlanır. S1 çeviricisi vasitəsilə mühərrik revers edilir. Süni kommutasiya dedikdə, tiristorun qapanması üçün onun çıxışlarına əks istiqamətdə cərəyan yaradan hər hansı bir enerji mənbəyinin qoşulması nəzərdə tutulur. Buna misal olaraq, M asinxron mühərrikin rotor dövrəsində olan tiristorlu idarəetməni göstərmək olar (şəkil 3).

Rotor dövrəsinə diodlardan ibarət olan idarə olunmayan VD1–VD6 düzləndiricilər qoşulub və onun çıxışında ardıcıl qoşulmuş VS1 işçi tiristor və R1 rezistor yerləşdirilib. VS1 işçi tiristor, düzləndirilmiş cərəyan dövrəsinə R1 rezistoru üzərindən qapanan tiristordur və onun süni kommutasiya düyünü vardır. Bu düyün köməkçi tiristor VS2, kondensator C və rezistor R2-dən ibarətdir.

Tutaq ki, əvvəlcə işçi tiristor VS1 açıq, köməkçi tiristor VS2 isə qapalıdır. Bu zaman kondensator C, rezistor R2 və tiristor VS1 vasitəsilə şəkil 3-də göstəriləndiyi kimi yüklənir. İndi köməkçi tiristor VS2-nin idarə elektroduna idarəetmə blokundan açma signalı verək. Köməkçi

tiristor VS2 açılır və kondensator öz boşalmasını onun və işçi tiristor VS1 üzərindən həyata keçirir. Bu zaman kondensatorun boşalma cərəyanı işçi tiristor VS1-in düz istiqamətli cərəyanına qarşı yönəldiyi üçün işçi tiristor VS1 sönür (qapanır). Bundan sonra kondensator R1 rezistoru və açıq köməkçi tiristor VS2 vasitəsilə şəkil 3-də mötərizədə göstərilən qütbləmə ilə yenidən yüklənir. İşçi tiristor VS1-i yenidən açmaq üçün onun idarə elektroduna idarəetmə blokundan signal verilməlidir. Bu zaman kondensator C-nin boşalma cərəyanı köməkçi tiristor VS2-ni söndürür və kondensator yuxarıda qeyd edildiyi kimi yenidən yüklənərək şəkil 3-də göstərilən vəziyyətinə qaydır.

Növbəti dövr, idarəetmə blokundan köməkçi tiristor VS2-nin idarə elektroduna signal verilməsi ilə başlayır. Rotor zəncirinin ekvivalent müqaviməti işçi tiristor VS1-in açıq və qapalı vəziyyətlərində keçirdiyi zaman intervallarının nisbətindən asılıdır. Bu nisbəti tənzimləməklə, rotor cərəyanının orta qiymətini, deməli, asinxron mühərrikin yaratdığı fırlanma momentini və mühərrikin fırlanma sürətini dəyişmək olar [8,9,10].



Şəkil 3. Rotor dövrəsində tiristorlardan istifadə edərək asinxron mühərrikin sürətinin tənzimi sxemi

Nəticə. Aparılmış təhlillərdən məlum olmuşdur ki, tiristor gərginlik tənzimləyiciləri ilə üçfazlı asinxron mühərrikin işə buraxılması, intiqalın işəburaxma cərəyanının qiymətinin aşağı salınması və intiqalın tormozlanma ilə revers olunmasını təmin etmək mümkündür. Həmçinin məlum olmuşdur ki, tiristor gərginlik tənzimləyicisi yüksək dəqiqliyə və hamar tənzimləməyə, yüksək faydalı iş əmsalına və enerji səmərəliliyinə, uzunömürlülüyə, etibarlığa, yaxşı mühafizə qabiliyyətinə və eləcə də sürətli reaksiya xüsusiyyətlərinə malikdirlər. Bu səbəbdən də asinxron intiqallı gəmi elektrik mühərriklərinin dövrlə sayını bu tənzimləyicilərdən istifadə etməklə effektiv idarə olunması təklif edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. E.F. Sultanov, İ.P. Bayramova, S.S. İsmayılov. “Elektrik maşınları”. Bakı, ADDA, 2023, 324 səh.
2. Osmanov S.C. “Elektrik maşınları”, II hissə, Bakı, 2013, 256 s.
3. Sultanov E. F. “Gəmi elektronika və güc çeviriciləri”. Dərs vəsaiti. Bakı, ADDA, 2020, 170 s.
4. Həsənov Z. Ə. “Güç elektronika və intiqalın idarə edilməsi”. Dərs vəsaiti, Bakı, ADNSU, 2018, 120 s.

5. E.F. Sultanov, E.M. Məmmədov. Управление электроприводами судовых грузоподъемных механизмов с помощью тиристорных регуляторов напряжения. Mühəndislik akademiya-sının xəbərləri jurnalı, Cild 11, Bakı, 2019, №3, səh. 90-93.
6. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я. Береславского. –М.: Издательский центр «Академия», 2004, 256 стр.
7. Новиков Г.В. Частотное управление асинхронными двигателями., М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2016, 433 стр.
8. Дайнеко В.А. Музыченко Е. Н., Равинский Н.А. Преобразовательная техника в электро-приводе / В.А.Дайнеко–Минск: БГАТУ, 2010, 108 стр.
9. Дмитриев Б. Ф. Судовые полупроводниковые преобразователи: учебник. –Архангельск: САФУ, 2015, 556 стр.
10. Попков, О.З. Основы преобразовательной техники. М.: МЭИ, 2010, 200 стр.

Məqalə qəbul olunub: 30.10.25
Təvsiyə edib: prof. Qafarov A.M.