

UOT 62.83.52

GƏMİ ELEKTRİK İNTİQALLARINDA İSTİFADƏ OLUNAN TEZLİK ÇEVİRİCİLƏRİNİN TƏHLİLİ

Abdullayev Y.R., Cəlilov T.A.

*Azərbaycan Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010, Bakı şəh., Azadlıq pr., 20
Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ1000 Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: turyancelil@gmail.com*

Xülasə. Məqalədə gəmilərdə elektrik intiqallarında istifadə olunan tezlik çeviricilərinin təhlili aparılmış və onların istifadəsinə dair təkliflər verilmişdir. Həmçinin, aralıq dövrəsinə görə tezlik çeviricilərinin təhlili aparılmış və gəmi elektrik və elektroenergetika sistemlərində hansı tezlik çeviricisinin tətbiq edilməsinin daha məqsədəuyğun olduğu göstərilmişdir.

Abstract. In this article has been analyzes the frequency converters used in electrical drives on ships and offers suggestions for their use. In additon has been analyzes the frequency converters for the intermediate circuit and shows which frequency converter is more appropriate in the ship's electrical and power systems.

Аннотация. В статье проведен анализ преобразователей частоты, применяемых в судовых электроприводах, а также предложены методы их использования. Кроме того, для промежуточных цепей проведен сравнительный анализ преобразователей частоты и указан наиболее подходящий тип частотного преобразователя для применения в судовых электрических и электроэнергетических системах.

Açar sözlər: gəmi, elektrik intiqalı, tezlik çeviricisi, aralıq dövrəsi, düzləndirici

Key words: ship, electrical drive, frequency converter, intermediate cycle, rectifier

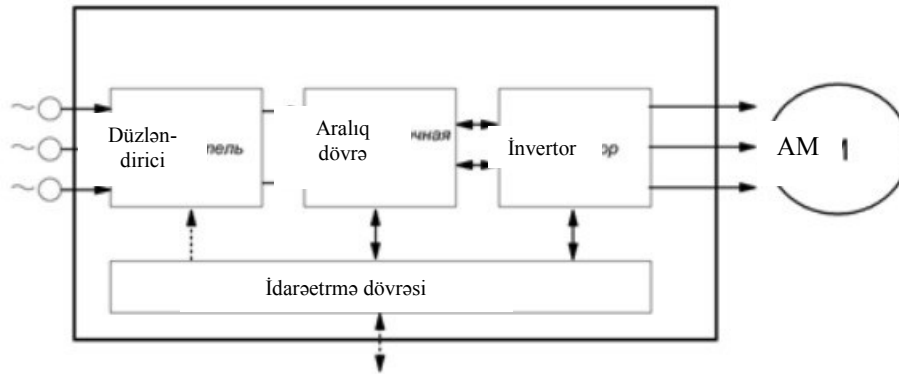
Ключевые слова: судно, электропривод, преобразователь частоты, промежуточная цепь, выпрямитель

Giriş. Tezlik çeviricisi (TÇ) müəyyən bir tezliyə malik dəyişən cərəyanı başqa bir tezliyə malik dəyişən cərəyanı çevirən qurğudur. 80-ci illərin əvvəllərində yarımkeçiricilər və mikroprosessorlar texnologiyasının inkişafı və hətta onların qiymətinin enməsi sayəsində TÇ-də əsaslı sürətdə dəyişiklik edilməyə başlandı. Ancaq TÇ-nin tərtib olunma prinsipi dəyişilmədən eyni qalmışdır. TÇ avtomatika sxemlərində müxtəlif məqsədlər üçün istifadə olunurlar. Onlar xüsusi dəyişən cərəyan elektrik intiqallarının idarə edilməsində geniş tətbiq olunurlar. TÇ-nin əsas üstünlüyü ən geniş yayılmış, ucuz və etibarlı olan qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərrikin sürətini geniş həddə tənzim etməyə imkan verməsidir. Gəmilərdə böyük güclü asinxron elektrik intiqalları tezlik çeviriciləri vasitəsilə idarə olunur [1, 3].

Əsas hissə. TÇ-nin tərkibinə əsas 4 element daxildir:

1. Düzləndirici ona qoşulan elektrik şəbəkəsinin qidalandırıcı üç fazlı dəyişən cərəyanını döyünən sabit cərəyan gərginliyinə çevirir. Düzləndiricilər əsasən iki tipdə olurlar: idarə olunan və idarəolunmayan.
2. Üç tip aralıq bəndindən biri:
 - a) Sabit cərəyanda çevrilmiş gərginliyi düzləndirir.
 - b) İnvertora verilən sabit cərəyan gərginliyini hamarlaşdırır və stabilləşdirir.
 - c) Düzləndiricininin dəyişməyən gərginlikli sabit cərəyanını dəyişən gərginlikli sabit cərəyanı çevirir.

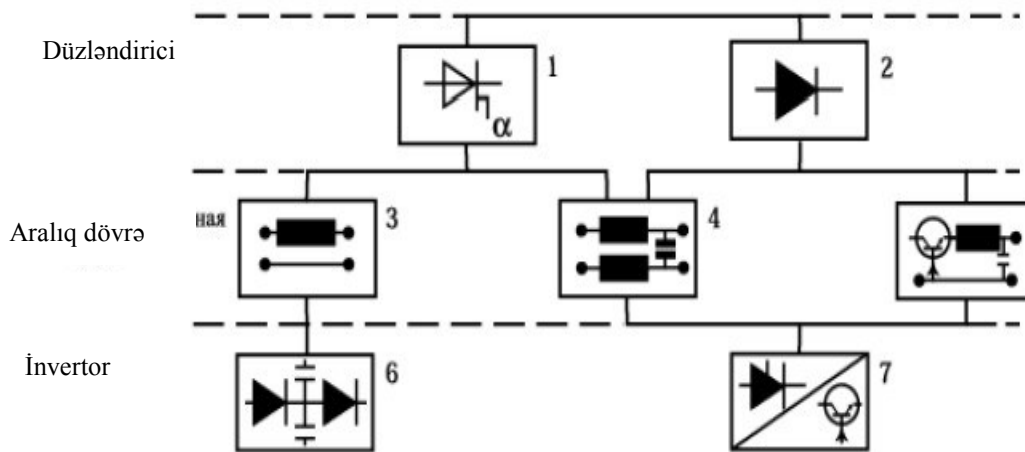
3. İnvertor elektrik mühərrikinə verilən gərginliyin tezliyini formalaşdırır. İnvertor dedikdə, sabit cərəyanı dəyişən cərəyanıya çevirən qurğu nəzərdə tutulur. Bəzi invertorlar, hətta dəyişilməyən gərginlikli sabit cərəyanı dəyişilən gərginlikli sabit cərəyanıya çevirir.
4. Elektron idarəetmə dövrəsi düzləndiriciyə, aralıq dövrəsinə və invertora signal göndərir və həmin elementlərdən signal alır. İdarə olunan elementlərin qurulması tamamilə TÇ-nin konstruksiyasından asılıdır (şəkil 1). Şəkil 1-də AM qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərrikidir.



Şəkil 1. TÇ-nin blok sxemi

Ümumiyyətlə, bütün TÇ-ləri üçün idarəetmə dövrəsi invertorun yarımkeçirici elementlərini idarə edir. TÇ-ləri kommutasiya rejiminə görə və elektrik mühərrikinin istifadə etdiyi qida gərginliyinin tənziminə görə fərqlənirlər.

Şəkil 2-də TÇ-nin müxtəlif qurulma prinsipləri göstərilmişdir.



Şəkil 2. TÇ-nin hazırlanması və idarə edilməsinin müxtəlif elementləri

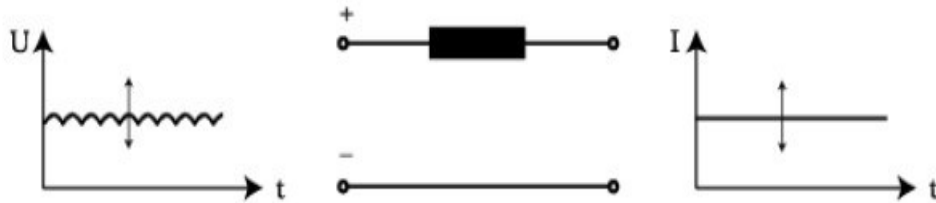
TÇ-nin idarə edilməsini aşağıdakıların istifadə edilməsi təyin edir:

- 1 - idarə olunan düzləndirici;
- 2 - idarə olunmayan düzləndirici;
- 3 - dəyişən sabit cərəyan aralıq dövrəsi;
- 4 - dəyişən gərginlikli sabit cərəyan aralıq dövrəsi;
- 5 - dəyişən sabit cərəyan aralıq dövrəsi;
- 6 - amplitud-implus modulyasiyalı (AİM) invertor;
- 7 - eninə-implus modulyasiyalı (EİM) invertor.

TÇ-də hər hansı diodlardan tiristorlardan və onların kombinasiyasından ibarət düzləndirici qurmaq olar. Düzləndirici əgər diodlardan hazırlanırsa idarə olunmayan, tiristorlardan yığılırsa idarə

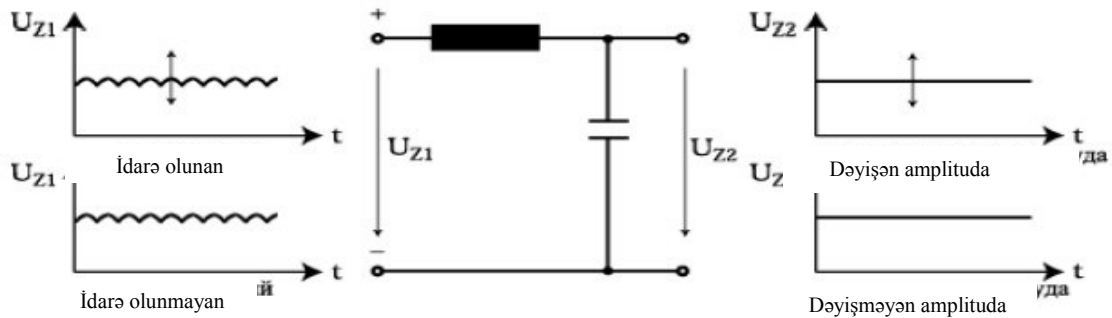
olunan olur. Əgər düzləndiricidə həm diod, həm də tiristor istifadə olunursa, yarımidarəolunan düzləndirici alınır. Aralıq dövrəyə saxlayıcı kimi baxmaq olar. İnvertordan keçən enerji elektrik mühərrikinə verilir. Aralıq dövrənin hazırlanmasının 3 prinsipi mümkündür və o, inverter və düzləndiricidən asılıdır [1, 4].

Bu halda, cərəyan mənbəli aralıq dövrəli inverterlər böyük induktivliyə malik dolaqdan və idarə olunan düzləndiricidən ibarətdir (şəkil 3). İnduktiv dolaq düzləndiricinin döyünən gərginliyini döyünməyən cərəyana çevirir. Gərginliyin yuxarı həddini elektrik mühərrikinin yükü təyin edir.



Şəkil 3. Dəyişdirilə bilən sabit cərəyan aralıq dövrəsi

Bu halda, gərginlik mənbəli aralıq dövrəli inverterlərdə filtrlər qoyulur, tərkibində kondensator, 2 tiptən ibarət hər hansı düzləndirici olur. Filtrlər U_{Z1} düzləndiricisinin sabit gərginliyinin döyünmələrini hamarlayır. İdarə olunan düzləndirici də verilmiş tezlikdəki gərginlik sabitdir və dəyişən amplitudlu sabit gərginlik olaraq invertera verilir. İdarə olunmayan düzləndiricilərin gərginliyi inverterun girişinə dəyişməyən amplitudlu sabit gərginlik şəklində verilir (şəkil 4).



Şəkil 4. Sabit gərginlik aralıq dövrəsi

İnverterlər idarə olunmasına görə 2 qrupa bölünürlər:

- 1) Şəbəkə vasitəsilə idarə olunan inverterlər;
- 2) Avtonom inverterlər.

Şəbəkə vasitəsilə idarə olunan inverterlərə şəbəkəyə bilavasitə qoşulmuş tezlik çeviricisi (BTÇ) aiddir. Bu tezlik çeviricilərində tristorlar təbii kommutasiya prosesi vasitəsi ilə bağlanırlar. Ona görə də, belə tezlik çeviricilərinin çıxış tezliyi şəbəkə tezliyindən az olur. Asinxron elektrik intiqallarının sürətini aşağı tezlik diapazonunda idarə etmək üçün bu tezlik çeviricilərindən geniş istifadə edilir. BTÇ-nin giriş və çıxış fazlarının sayı onun əsas təsnif olunma əlaməti olub tezlik çeviricisinin strukturunu və sxemini müəyyən edir. Qeyd etmək lazımdır ki, çoxfazlı tezlik çeviriciləri daha yüksək texniki-iqtisadi göstəricilərə malik olur.

Şəbəkə vasitəsilə idarə olunan inverterlər sabit cərəyan mənbəyindən enerjini dəyişən cərəyan şəbəkəsinə ötürürlər. Bu inverterlərin sxemləri düzləndiricilərin sxemləri kimi olub birfazlı və üçfazlı variantda hazırlanırlar. Düzləndiricilərdən fərqli olaraq, şəbəkə vasitəsilə idarə olunan inverterlərin idarə siqnalları faz gərginliyinin kəşismə anından β bucağı qədər əvvəl verilir. Bu

invertorlardan sabit cərəyan mühərrikini rekuperativ rejimdə tormozlamaq üçün, günəş panellərində istehsal olunan sabit cərəyanı şəbəkəyə ötürmək üçün istifadə edilir.

BTÇ-lər ancaq gərginlik mənbəyi kimi təsir göstərərək şəbəkə tezliyindən aşağı tezliklərdə istifadə olunur $(30 \div 50)H_s$. Ona görə də, BTÇ-nin gücü idarə etdiyi elektrik mühərrikinin gücündən kiçik olur [1, 2].

Avtonom inverterlər isə sabit cərəyan mənbəyindən enerjini dəyişən cərəyana çevirərək işlədiciyə ötürür. Avtonom inverterlərə şəbəkəyə sabit cərəyan bəndi vasitəsilə qoşulmuş tezlik çeviriciləri aiddir. Bu inverterin çıxış gərginliyinin qiyməti və tezliyi inverterin sxemindən, idarə sistemindən və iş rejimindən asılıdır. Avtonom inverterlərdəki elektromaqnit proseslərin xarakterindən asılı olaraq, əsasən, 2 növ avtonom inverterə baxılır: cərəyan inverteru və gərginlik inverteru [2, 3].

Cərəyan inverterlərində sabit cərəyan dövrəsinə böyük induktivliyə malik drossel qoşulur və inverterin giriş cərəyanı fasiləsiz hesab edilir. Cərəyan inverteru ekvivalent cərəyan mənbəyi kimi xarakterizə olunur və onun yükü aktiv-tutum xarakterli olur.

Gərginlik inverterunda sabit gərginlik mənbəyi tristorlar vasitəsilə birbaşa yükə tətbiq edilir. Gərginlik inverterunun yükü aktiv-induktiv xarakter daşıyır. Şəbəkəyə birbaşa qoşulmuş tezlik çeviriciləri (BTÇ) aralıq sabit cərəyan bəndi olan tezlik çeviricilərindən onunla fərqlənir ki, BTÇ-nin ölçü və kütləsi kiçik olur.

Inverter - TÇ-dəki sonuncu bənddir və elektrik mühərrikindən əvvəl çıxış gərginliyinin sonuncu qiymət və forma aldığı yerdədir. TÇ bütün tənzim diapozonu boyunca standart iş şəraitini təmin edir, tənzim yolu ilə çıxış gərginliyini yük rejiminə uyğunlaşdırır. Bu elektrik mühərrikinin optimal maqnitlənməsinə imkan verir. Aralıq dövrəsinə görə inverterlər olur:

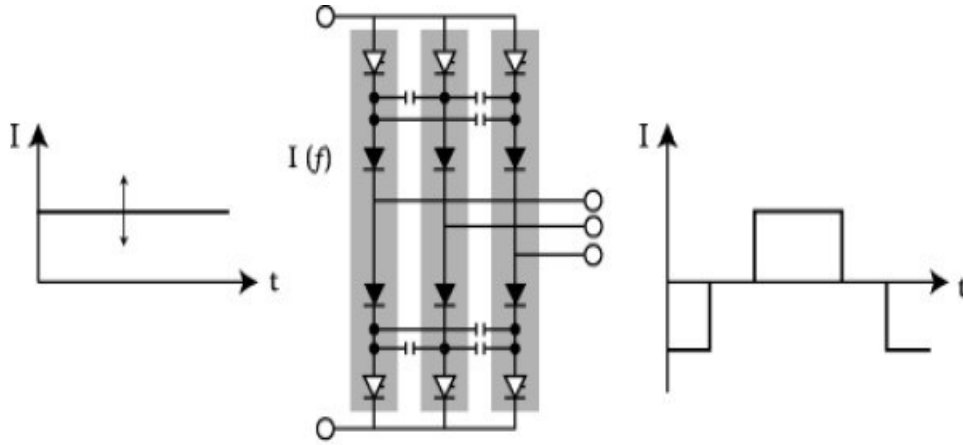
- dəyişə bilən sabit cərəyan;
- gərginliyi dəyişə bilən sabit cərəyan və ya;
- gərginliyi dəyişməyən sabit cərəyan.

Inverterlər sayəsində bütün hallarda mühərrikə verilən parametrlərdən hər hansı biri dəyişilir. Başqa sözlə, inverterdə həmişə gərginliyinin lazımi tezliyi yaradılır və elektrik mühərrikinə verilir. Əgər cərəyan və ya gərginlik dəyişkəndirsə inverter yalnız lazımi tezliyi yaradır. Əgər gərginlik dəyişkən deyilsə, inverter elektrik mühərriki üçün lazımi tezliyi və lazımi gərginliyi yaradır. Hətta, əgər inverter fərqli formada işləyirsə də, onların əsas strukturu həmişə eynidir. Inverterlərin əsas elementi idarə olunan yarımkeçirici qurğulardır. Onlar hər fazada 2 ədəd olmaqla cəmi 6 ədəddir [3, 4].

Hal-hazırda tiristorlar əksər hallarda yüksək tezlikli transiztorlarla əvəz olunur. Onlar çox sürətli açılıb bağlana bilirlər. Kommunikasiya tezliyi, adətən, 300Hz-dən 20kHz-dək intervalda yerləşir və o, istifadə olunan yarımkeçirici qurğudan asılıdır. Inverterdəki yarımkeçirici qurğular idarəetmə dövrəsi tərəfindən yaradılan siqnalqlarla açılır və bağlanır. Siqnalqlar bir neçə fərqli üsulla meydana gələ bilər.

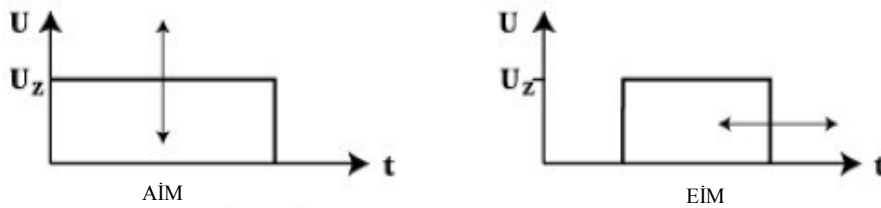
Adətən, inverterləri 6 kondensator və 6 tristorla ibarət dəyişən gərginlik aralıq cərəyan dövrəsi kommutasiya edir. Kondensatorlar tristorların elektrik mühərrikinin ölçüsünə uyğun və faza dolaqlarını 120° sürüşdürülmüş formada açılıb bağlanaraq gərginlik yaratmasına imkan verməlidir. Cərəyan U-V, V-W, W-U, U-V..., ardıcılıqla mühərrikin sıxaclarına dövrü olaraq tətbiq edildikdə tələb olunan tezliyin fasiləsiz fırlanan maqnit sahəsi meydana gəlir. Hətta, elektrik mühərrikinin cərəyanı bu vəziyyətdə, demək olar ki, düzbucaqlı forma alsada, elektrik mühərrikinin gərginliyi praktiki olaraq sinusoidal olacaqdır. Ancaq cərəyan açıldıqda və ya bağlandıqda həmişə gərginlik artımı baş verir. Kondensatorlar elektrik mühərrikinin yük cərəyanından diodlarla ayrılır. Aralıq dövrəsinin gərginliyi dəyişən və dəyişməyən inverterlər 6 kommutasiya elementindən ibarətdir və istifadə olunan yarımkeçirici qurğuların növündən asılı olaraq, demək olar ki, eyni işləyirlər. İdarəetmə dövrəsi bir neçə fərqli modulyasiya metodundan istifadə edərək yarımkeçirici qurğuları açır və bağlayır. Bununla da, TÇ-nin çıxış tezliyi dəyişir. Birinci üsul dəyişən gərginlik və ya cərəyan

aralıq dövrəsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Intervallar xüsusi yarımkeçirici qurğuların açıq olduğu müddətdə istifadə üçün tələb olunan çıxış tezliyini almaq üçün ardıcılıqla yerləşdirilir (şəkil 5).



Şəkil 5. Dəyişilə bilən gərginlikli aralıq dövrəli adi cərəyan invertoru

Yarımkeçirici qurğuların bu kommutasiya ardıcılığı dəyişən gərginlik və ya cərəyan aralıq dövrəsinin qiyməti ilə idarə olunur. İstifadə olunan generatorun döyünmələri sayəsində gərginlik idarə olunur, tezlik isə həmişə gərginliyin amplitudunu izləyir. İnvertorların belə idarəetmə növü Amlitud-İmpuls Modulyasiya (AİM) (ingiliscə - Pulse Amplitude Modulation (PAM)) adlanır (şəkil 6).

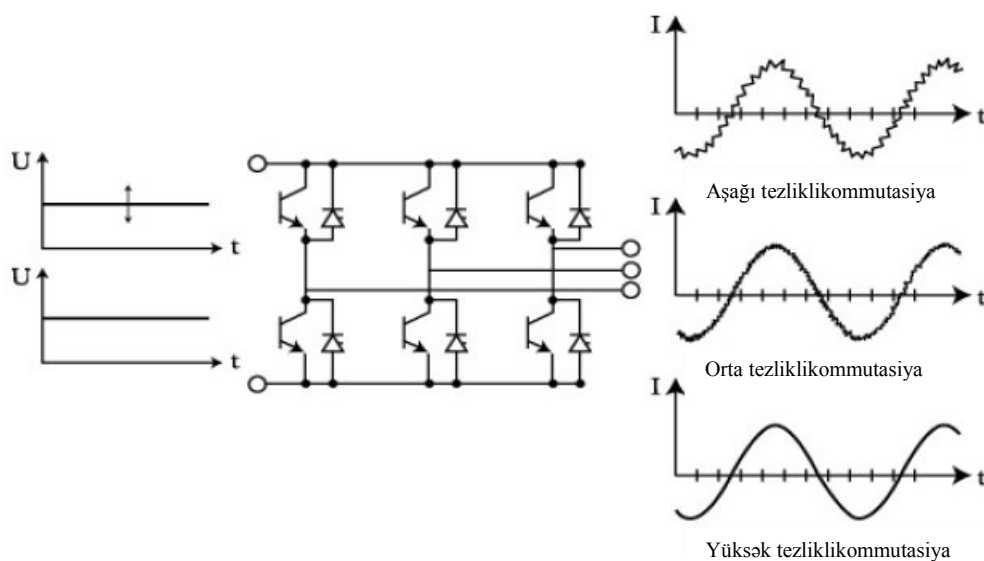


Şəkil 6. Amplitud və eninə impuls modulyasiyaları

Sabit gərginlik aralıq dövrəsi üçün başqa əsas metod istifadə olunur. Elektrik mühərrikinin gərginliyi aralıq dövrə gərginliyinin elektrik mühərrikinin dolağına daha uzun və ya daha qısa zaman intervalında verilməsi sayəsində dəyişkən olur.

Zaman oxu boyunca bir yarımdövr ərzində müsbət, digər yarımdövr ərzində mənfi olaraq gərginlik impluslarını dəyişdirmək yolu ilə tezlik də dəyişdirilir. Bu üsulla gərginlik impluslarının müddətində (enində) dəyişiklik baş verir və o, Eninə İmpuls Modulyasiyası (EİM) (ingiliscə - Pulse Width Modulation (PWM)) adlanır. Eninə impuls modulyasiya (EİM) prinsipi ilə həm sabit gərginliyin qiymətini, həm də dəyişən cərəyanın tezliyini və gərginliyinin qiymətini dəyişmək olur. Bu üsulun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, müəyyən bir tezliklə (aparıcı tezlik- f_a) hasil edilən impulsların $T_a=1/f_a$ müddəti ərzində enini (davam etmə müddətini) dəyişməklə, nəticədə, çıxış gərginliyinin qiymətini dəyişmək olur. İmpulsların enini müəyyən bir qanunauyğunluqla dəyişməklə çıxışda müəyyən tezliyə və gərginliyə malik dəyişən signal da almaq olar (şəkil 7).

EİM (və onunla əlaqəli metodlar, məsələn, sinusoidalı idarə olunan EİM) invertorun idarəetmə metodu kimi daha çox yayılmışdır. EİM-da idarə etmə dövrəsi yarımkeçirici qurğuların kommutasiya müddətlərini təyin edir. Digər perspektivli EİM metodları modifikasiya olunmuş EİM metodlarıdır. Belə metodlara "Danfoss" şirkəti tərəfindən hazırlanmış VVC və VVCplus metodlarını göstərmək olar [3, 4].



Şəkil 7. Gərginliyi dəyişilə bilən və dəyişilməyən aralıq dövrəli invertor və çıxış cərəyanının kommutasiya tezliyindən asılılığı

Nəticə. Gəmi elektrik intiqallarında istifadə olunan tezlik çeviricilərinin və onların aralıq dövrlərində istifadə olunan elementlərin təhlili göstərir ki gəmilərdə həm gərginliyə görə, həm də cərəyana görə tənzim aparılan aralıq dövrəli tezlik çeviriciləri istifadə etmək mümkündür. Gəmi elektroenergetik sistemlərində və eləcə də gəmi elektrik stansiyasında bilavasitə əlaqəli və ya şəbəkədən idarə olunan tezlik çeviricilərinin istifadəsi daha məqsədəuyğundur. Fırlanma sürətinin tənzimi tələb olunan gəmi elektrik intiqallarında (kran qurğusu, braşpil qurğusu, koməkçi sükan qurğusu və s.) isə sabit cərəyan bəndli EİM-lı tezlik çeviricilərinin tətbiqi daha əlverişlidir.

Ədəbiyyat

1. Həsənov, Z. Ə. "Güc elektronikaı və intiqalın idarə edilməsi". Dərs vəsaiti./Z. Ə. Həsənov, S. Ə. Xanəhmədova – Bakı: ADNSU, 2018.-120 s.
2. Sultanov, E. F. "Elektron güc çeviricilərinin gəmilərdə tətbiqi" / E. F. Sultanov.– Bakı: ADDA, 2015.-100 s.
3. Sultanov, E. F. "Gəmi elektronikaı və güc çeviriciləri". Dərs vəsaiti. / E. F. Sultanov, F.V. Məmmədova – Bakı: ADDA, 2020.-170 s.
4. Преобразователи частоты - просто о сложном :/ Danfoss Drives A/S. -2006.-165 c.

Məqalə qəbul olunub: 12.03.2021
Təvsiyə ediblər: t.e.d., prof. A.M. Qafarov