



Maja Krčum*

Zlatan Kulenović**

ISSN 0469-6255
(89-95)

ANALIZA PRIMJENE ELEKTRIČNE PROPULZIJE NA BRODOVIMA ANALYSIS OF THE APPLICATION OF A SHIP'S ELECTRICAL PROPULSION

UDK 621.316.17]629.12

Stručni članak

Professional paper

Sažetak

Tijekom posljednjeg desetljeća u brodarstvu se primjenjuju različiti tipovi brodova što je ovisno o njihovoj namjeni (tankeri, putnički brodovi, brodovi za specijalne namjene i sl.). Kako bi ti brodovi ostvarili svoju namjenu i cilj potrebno je već u fazi početnog dizajniranja pravilno odabrati propulzijski sustav. U posljednje se vrijeme velika prednost daje električnoj propulziji u odnosu na mehaničku i uglavnom se predviđa njezina primjena na brodovima od 2000. godine. Odabir propulzijskog sustava ovisi o fleksibilnosti, sigurnosti, cijeni udobnosti, upotrebljivosti, troškovima održavanja i sl. Sagledavajući osnovnu namjenu broda kao i sve važne parametre može se doći do optimalnog izbora propulzijskog sustava [1].

Ključne riječi: električna propulzija broda, dizel-električna propulzija.

Summary

During the past decade various types of ships have been used in shipbuilding depending on their purposes (ships for special purpose, tankers, passenger liners and etc.).

Correct choice of propulsion system has to be made in initial designing in order for the ships to achieve their purposes. Electrical propulsion has been recently given advantage over mechanical propulsion, the final choice depending on flexibility,

safety, cost, maintenance cost, use of propulsion power, etc. An optimum propulsion system can be chosen taking into account the basic purpose of the ship, as well as the significant parameters [1].

Key words: electrical propulsion, diesel-electric propulsion.

1. Uvod

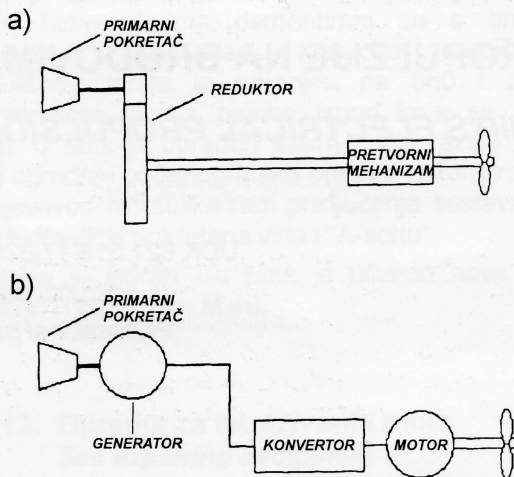
Introduction

Za veliki broj brodova zadovoljava jednostavna mehanička propulzija gdje primarni pokretači, upravljani upravljačkom opremom u preketima, pogone osovina i brodski vijak. Takav mehanički prijenos postiže 95% efikasnosti pri punoj snazi. Dizelske i plinske turbine ne rade jednako lako u oba smjera vrtnje, a brodovima se mora omogućuje manevriranje što svakako utječe na stvaranje visoko sofisticiranih sustava za upravljanje kojima se omogućava preketanje u oba smjera. Ti su nedostaci uvjetovali nova rješenja uz primjenu elektromotora za okretanje osovine. S pomoću električnog pogona generatori pretvaraju primarno gibanje u električnu energiju, koja se predaje motorima, koji tu električnu energiju pretvaraju u mehaničku. U odnosu na mehanički prijenos, tu se događaju dva pretvaranja energije umjesto jednog, što rezultira povećanim gubicima. Taj sustav postiže 89% efikasnosti pri punoj snazi [2]. Ipak, efikasnost električnog prijenosa ne pada brzo kao brzina osovine kod mehaničkog prijenosa i može biti efikasnija pri manjim brzinama. Nagla primjena električne propulzije očituje se u razvitku elektroničkih komponenta koje regulaciju i sustav upravljanja čine znatno jednostavnijim i jeftinijim.

*mr. sci. Maja Krčum
Visoka pomorska škola u Splitu

**dr. sci. Zlatan Kulenović
Visoka pomorska škola u Splitu

Upravo primjenom modernih tehnologija pogonski kompleks je toliko unaprijeđen da je električna propulzija ozbiljan konkurent mehaničkim pogonskim sustavima. Laka kontrola brzine i smjera vrtnje vijka te mogućnost kontrole i upravljanja s više udaljenih mjesta (mogu upravljati sustavom i neki drugi, ali ovlašteni članovi posade) daje određene prednosti električnoj propulziji ispred mehaničke (slika 1.).



Slika 1. Mehanički (a) i električni prijenos (b)
Figure 1. Mechanical and electrical propulsion

Svakako da to zahtijeva i veći stupanj edukacije osoblja što je u skladu s IMO zahtjevima i onog što propisuje STCW konvencija, jer se na brodu želi primijeniti načelo elektrane kao na kopnu. U pogledu sigurnosti električna propulzija ima veće prednosti, jer je za pogon broda sigurniji rad s više strojeva i vijaka (pri kvaru jednog preostali mogu preuzeti opterećenje). To su samo neke od osnovnih prednosti koje treba u potpunosti sagledati ovisno o tipu i veličini broda, izboru općeg elektroenergetskog sustava te sagledavajući sve ostale važne parametre na brodu.

2. Propulzijski sustav The Propulsion System

Izvori električne energije za napajanje propelera (brodski vijak) mogu biti: akumulatorska baterija, generator, kombinacija dizelskog generatora i akumulatorska baterija ili gorive ćelije, a prema vrsti struje razlikuju se istosmjerni, izmjenični i izmjenično-istosmjerni sustavi (slika 2.). Za pogon električnih generatora rabe se turbine i dizelski motori (turbogenerator ili dizelgenerator). Danas se primjenjuju tzv. kombinirani pogoni koji podrazumijevaju da se izravnom pogonu propelera doda elektromotor napajan iz posebnog izvora

električne energije. Dodavanjem tog elektromotora dovodi se dodatna snaga osovini propelera koju inače pogoni turbina ili dizelski motor.

Promjene otpora broda, izazvane promjenom brzine broda, djelovanjem valova i vjetra itd., utječu na promjenu brzine vrtnje propelera i na promjenu porivne snage. Brodski propulzijski sustav mora se prilagoditi tim promjenama opterećenja.

Da bi se moglo izvršiti pravilno dimenzioniranje električnih propulzijskih strojeva mjerodavne su ekstremne točke procesa pokretanja stroja. Manevar prekretanja stroja, zbog zaustavljanja ili zbog promjene vožnje naprijed u vožnju natrag, važan je za sigurnost broda pri pristajanju uz obalu ili zbog izbjegavanja nesreća na moru. Pri manevriranju broda, kada se mijenja smjer vožnje najprije treba usporiti i zaustaviti brodsku masu u kretanju, masu broskog vijka i osovine, masu vode koju potiskuje propeler i masu rotora propulzijskog stroja, a zatim ih okrenuti u suprotnom smjeru i ubrzati. Radni procesi su pri takvom manevriranju detaljno istraženi, pa su razrađene i različite metode za proračun momenata propulzijskog sustava u pojedinim fazama procesa. Prekretanje stroja [4] određeno je jednadžbama gibanja broda (1) i propulzijskog sustava (2):

$$m \frac{dv}{dt} = \sum F \quad (1)$$

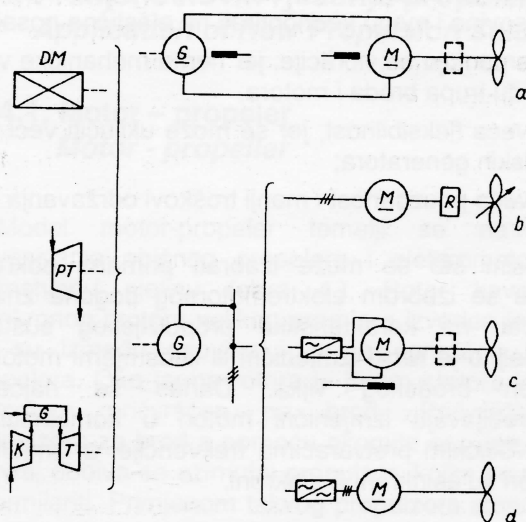
$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = \sum M \quad (2)$$

gdje je: m - masa broda i dodatna masa motora,
 v - brzina broda,
 t - vrijeme,
 $\sum F = F_p - F_r$

gdje je: F_p - porivna sila propelera,
 F_r - sila otpora broda,
 I - moment tromosti rotirajućih masa i dodatne mase motora,
 ω - kutna brzina,
 $\sum M = M_s - M_p - M_t$

gdje je: M_s - zakretni moment stroja,
 M_p - moment propelera,
 M_t - moment trenja osovinskog sustava.

Promjena veličina u izrazima (1) i (2) ispituje se na određenom brodskom modelu, a rezultati mjerenja predočavaju se s pomoću krivulja gdje se za različite konstantne brzine vrtnje propelera promatra promjena momenta propelera zbog njegovog prekretanja.



Slika 2. Osnovne kombinacije električne propulzije

Figure 2. Basic combination of electrical propulsion

Pogon električne propulzije ostvaruje se istosmjernim ili izmjeničnim strojevima. Uporabom silicijskih ispravljača nastali su hibridni sustavi pogona pa se ugrađuju izmjenični generatori, a pogonski strojevi su istosmjerni. Poluvodičkim uređajima riješen je nedostatak između motora koji se koriste istosmjernom i onih koji se koriste izmjeničnom strujom [3], što je pogodno jer se na taj način omogućuje korištenje izmjeničnih generatora uz zadržavanje povoljnih karakteristika kontrole brzine vrtnje istosmjernih strojeva.

2.1. Pogon broskog vijka motorom istosmjerne struje

Driving of the ship's propeller by a directional current motor

Za pogon broskog vijka istosmjernim motorom prilagodba promjenama opterećenja pouzdano se postiže već samom karakteristikom tih motora koji pri preopterećenju daju propeleru povećani moment, a pri rasterećenju imaju ograničenu brzinu vrtnje.

Pogon propelera motorom istosmjerne struje ostvaruje se s pomoću spojeva s:

- konstantnim naponom - prikladan je za brodove manjih propulzijskih snaga (do 350 kW);
- konstantnom strujom - kada se iz istog izvora osim motora broskog vijka, električnom energijom napajaju i druga trošila na brodu;
- Ward-Leonardovim spojem - ekonomičnost pogona postiže se većim brojem serijski ili paralelno spojenih generatora.

Taj sustav propulzije primjenjuje se za brodove (ledolomce) koji trebaju dvostruki sustav s raznim stupnjevima prijenosa snage sa jedne na drugu stranu, a ima i sposobnost pokretanja broskog vijka

smanjenom snagom generatora samo jedne strane. Osnovna je karakteristika opisanog sustava je u postizanju velikog zakretnog momenta pri malim brzinama, kao i mogućnost smještaja broskog vijka na kraj broda (ušteda u prostoru zbog skraćene duljine osovine). Prednosti sustava su:

- jednostavnost upravljanja i kontrole - promjenom napona generatora mijenjaju se parametri poriva (preko kontrolnog polja);
- višestruke upravljačke stanice - s pomoću selektivnih sklopka (u kontrolnoj strojarnici) upravlja se na udaljenije mjesto s tim da glavna upravljačka stanica može preuzeti upravljanje u bilo kojem trenutku;
- prilagodljivost promjenama karakteristika broskog vijka zbog promjene opterećenja.

Ako se kao primarni pokretač rabi dizelski motor onda je to brzohodni motor (ušteda u težini, veličini postrojenja), a ako se rabi turbina onda je to obično jedna brzohodna nereverzibilna parna turbina koja pokreće generator preko reduktora kako bi se velika brzina turbine prilagodila generatoru istosmjerne struje.

2.1. Pogon broskog vijka motorom izmjenične struje

Driving of the ship's propeller by an alternating current motor

Za pogon broskog vijka motorom izmjenične struje rabe se trofazni sinkroni ili asinkroni motori posebnih izvedbi. U odnosu na istosmjerne pogone oni imaju znatnu prednost u odnosu na veličinu, cijenu, održavanje i jednostavnost. Rabe se u sustavima čija je snaga veća od 30 000 kW, a gornja granica nije određena. Naponske vrijednosti se određuju na osnovi izvedbe motora i generatora te uređaja za pokretanje. Prednosti tog sustava su visoka učinkovitost, fleksibilnost ugradnje, primjena višestrukih primarnih pokretača, dvostruka uporaba propulzivne snage, smanjenje brzine primarnog pokretača na osovinu vijka ostvaruje se izborom motora s velikim brojem polova u odnosu na generator, te postizanje velikih snaga. Kod takvih sustava postoji mogućnost da se osim za pogon električna energija rabi i za opskrbu brodskih službi električnom energijom.

2.1. Pogon broskog vijka izmjenično - istosmjernom strujom

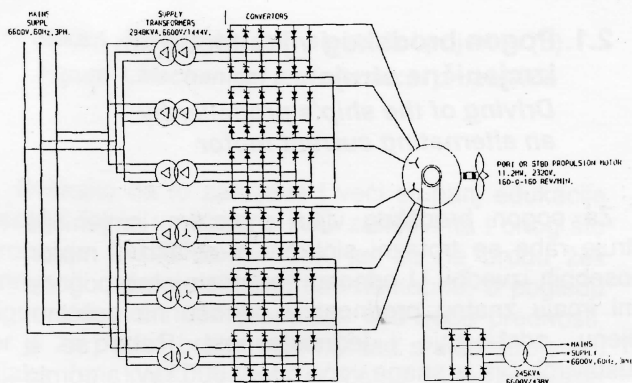
Driving of the ship's propeller by directional-alternating current motor

Za pogon broskog vijka izmjenično-istosmjernom strujom obično se rabi generator izmjenične struje i istosmjerni motor. Takav sustav

zahtijeva i primjenu ispravljača. Promjena brzine propulzijskog motora postiže se promjenom uzbude izmjeničnog generatora, a promjena smjera vrtnje vijka postiže se promjenom polariteta polja porivnog motora. Tiristorski most je pretvarač koji osigurava električno napajanje DC istosmjernog motora. On daje sustavu dobru dinamičku karakteristiku jer struja armature može vrlo brzo teći, što sustavu omogućuje ispravan odziv na brze promjene stanja brodskog vijka. Električna propulzija koja se obavlja pomoću istosmjernih strojeva uzrokuje neke probleme:

- propulziju motora;
- bazna dužina na koju se postavljaju motori kada je ukupna snaga velika;
- održavanje komutatora u uvjetima koji vladaju na moru;
- uporaba transformatora za velike snage;
- prekidači - osigurači za istosmjernu struju;
- dimenzioniranje kabela za velike struje (termičke).

To su osnovni razlozi zbog kojih se prešlo na motore izmjenične struje.



Slika 3. Kružni pretvarač
Figure 3. Circular converter

3. Električna propulzija danas Electrical propulsion today

Sagledavajući pojedine parametre koji su važni u izboru elemenata propulzije (primarni pokretač, generator, elektromotor te regulacijski uređaji) znatna prednost se danas daje dizelskoj električnoj propulziji. Parno (plinsko) -turbinski pogon u propulziji zahtijeva mehanički prijenos snage na propelere. Električna energija za ostala brodska trošila u parno-turbinskom sustavu proizvodi se iz istih izvora kao i za propulziju. Nedostatak je takvih sustava velika buka, vibracije i pouzdanost sustava. Primjenom dizelske električne propulzije postiže se:

- manje buke, jer su dizelski generatori neovisni od osovina i mogu se montirati na elastične nosače,
- smanjuju se vibracije, jer nema mehaničke veze između trupa broda i motora;
- veća fleksibilnost, jer se može uključiti veći broj dizelskih generatora;
- veća pouzdanost i manji troškovi održavanja.

Osim što se može izabrati primarni pokretač može se izborom elektromotornog pogona znatno utjecati na karakteristike propulzijskog sustava. Temeljno je rabiti izmjenični ili istosmjerni motor za pogon brodskog vijka. Danas se najčešće upotrebljavaju izmjenični motori u kombinaciji s poluvodičkim pretvaračima frekvencije, a izmjenični motori su asinkroni ili sinkroni.

Da bi se napravio pravilan izbor treba voditi računa o cijeni (sinkroni su motori znatno skuplji od asinkronih); o parametrima koji su važni za izbor generatorskih jedinica (sinkroni motori ne rabe reaktivnu snagu i efikasniji su od asinhronih motora); asinkroni motori imaju smanjeni "air-grip" koji se ističe kao slaba točka; asinkroni motori se ne preporučuju za one brodove čiji je trup izložen velikim vanjskim napre-zanjima (kao npr. ledolomci); problem pokretanja motora.

Problem pokretanja motora povezan je s brzinom koja ovisi o omjeru instalirane snage i motora. Također, pokretanje može biti izravno, ili preko odgovarajućih serijski spojenih svitaka, ili što je i najčešće, preko autotransformatora.

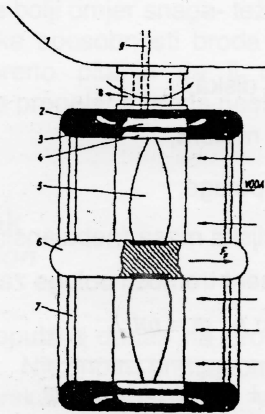
Regulacija frekvencije motora može se obavljati na više načina. Na slici 3. prikazana je regulacija preko kružnog pretvarača. Pogon motora ostvaren je preko statičkog pretvarača frekvencije koji se temelji na radu autosinkronog invertora. Aktivni elementi autosinkronog invertora su tiristorski poluvodiči (Graetzov spoj) koji su preko posebnih kontakata povezani na mrežnu i motorsku stranu. Između dva mosta nalazi se prigušnica (zavojnica), koja omogućuje promjenu brzine vrtnje u širokom opsegu.

Česti oblik statičkih pretvarača za brodove srednje i male snage (0.5-20 MW) su "cycloconverters", tj. izravni pretvarači frekvencije. Preko takvih pretvarača motor se izravno priključuje na mrežu. Prednost takvih sustava je u boljem radu tiristorskih mostova na nižim frekvencijama. Nedostatak im je što su namijenjeni za relativno manje brzine, veliki broj tiristora traži veći volumen, veću cijenu montaže i veću pouzdanost i iskoristivost sustava. Prednost se daje tzv. "Synchrothy" (samosinkroni invertori) [4] jer omogućuje veliki poriv pri malim brzinama vrtnje propelera (tegljenje), brzu plovidbu na otvorenom moru, zadržava fiksni položaj za vrijeme ukrcaja i iskrcaja.

4. Primjene novih rješenja propulzije *Application of New Propulsion Solution*

4.1. Motor – propeler *Motor - propeller*

Model motor-propeler temelji se na ideji povezivanja običnog propelera i elektromotora u jedinstvenu cjelinu (slika 4.). Rotor kaveznog asinkronog motora velikog promjera izveden je tako da su između osovine i jarma ugrađena krilca propelera. Oko jarma rotora je jaram statora koji je namotom pričvršćen na brod. Pričvršćenjem propulzora za brod s pomoću okomite osovine, koja se vrti, dobiva se azimutni propulzor, kojim se može i kormilariti. Primjenom takvog propulzora smanjene su vibracije, relativno je lagan pristup samom propulzoru, pogonska osovina ne prolazi kroz oplatu broda, propeler je zaštićen od mehaničkih utjecaja, kroz okomitu osovinu prolaze električni vodovi, elektromotor se hladi izravno vodom koja struji kroz njega, a aktivni materijal elektromotora može se znatno više opteretiti.



Slika 4. Motor - propeler
Figure 4. Motor - propeller

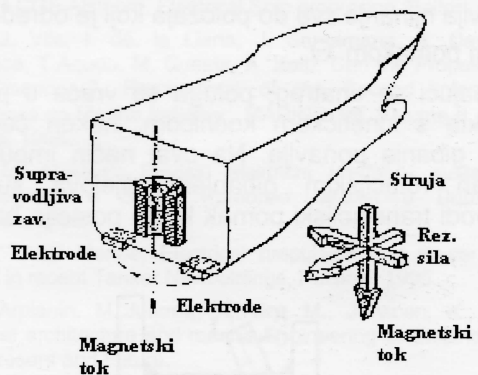
Oznake na slici 4. redom znače: 1 – krma broda, 2 – stator motora od nemagnetskog materijala, 3 – statorski jaram s namotom, 4 – rotorski jaram s kavezom, 5 – krila propelera, 6 – mirujuća osovina, 7 – konstrukcijski dijelovi, 8 – osovina za nošenje i zakretanje, 9 – kabel za priključak statora, F_p - porivna sila na brod.

4.2. Elektromagnetska propulzija *Electromagnetic propulsion*

Najnoviji prijedlozi nastoje postići što bolji prijenos snage s primarnih na propulzijske strojeve uporabom supravodljivih električnih strojeva. U

supravodljivim namotima električni otpor je zanemariv kad se namoti ohlade na temperaturu blizu apsolutne nule. Budući da nema otpora, velike uzbudne struje ostvaruju jaka magnetska polja, koja smanjuju prostor za supra-vodljive namote. Time se znatno uštedi masa i volumen, a manji su gubici, povećana je granična snaga, manji je potrošak goriva energetskih izvora i veća je fleksibilnost pogonskih strojeva.

Osnovni način rada je prikazan na slici 5. Petlja električnog vodiča smještena je uzduž broda, a istosmjerna struja prolazi kroz supravodljivu zavojnicu između elektroda smještenih na oplati uzduž broda na obje strane. Smjer istosmjerne struje okomit je na smjer magnetskog polja u okomitoj ravnini, a rezultatna sila djeluje okomito na tu ravninu u vodoravnom smjeru. Lorenzove sile (fizikalna slika propulzora) proporcionalne su struji tj. gustoći struje u zavojnici, magnetskoj indukciji i duljini na kojoj dolazi do međudjelovanja struje i magnetskog polja. Prva razmatranja nisu pokazala najbolje rezultate, pogotovo što je teško ohladiti materijal do temperature kada bi on postao supravodljiv.



Slika 5. Osnovni način elektromagnetske propulzije
Figure 5. Basic principles of electromagnetic propulsion

4.3. Gorive ćelije *Combustible Cells*

Gorive ćelije su se dugo primjenjivale za svemirske letjelice i eksperimentalno na podmornicama. Imaju vrlo visoki stupanj korisnosti i vrlo mali negativni utjecaj na okoliš. Napon po jednoj ćeliji je malen tako da ih se u pravilu spaja više u seriju.

Ako se na elektrode dovodi H_2 kao gorivo i O_2 kao oksidant, dolazi do odgovarajuće reakcije pri čemu se oslobađa određena količina naboja između elektroda, a to znači da se između elektroda stvara razlika potencijala (kao rezultat reakcije javlja se čista voda i otpadna toplina).

Da bi se ovakav elektromotor propelera mogao pokrenuti, potreban je izmjenjivač za pretvorbu istosmjerne struje konstantnog napona u trofaznu izmjeničnu struju promjenjive frekvencije i napona.

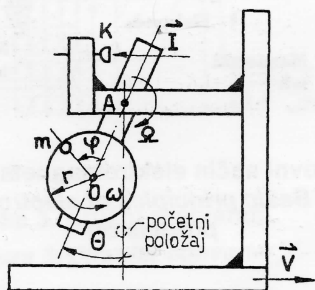
4.4. Impulzni propulzijski sustav Impulse Propulsion System

Impulzni propulzijski sustav je novorazvijeni sustav (Europen Patent No 19712542.5-13), a temelji se [5] na generiranju mehaničkog impulsa sile kojega proizvodi vrtnja nebalansirane mase s malim kutem. Laboratorijski model sustava prikazan je na slici 6.

Masa m smještena je na rubu diska polumjera r , koji se vrti oko osi O stalnom kutnom brzinom ω . Ležište diska je na njihalu oblika poluge i zajedno s njom nalazi se unutar zatvorene kutije kao postolja sustava. Vrtanja diska obavlja se pomoću elektromotora.

Nakon pokretanja sustava, zbog vrtnje mase m dolazi do gibanja poluge, koja se vrti kutnom brzinom Ω u suprotnom smjeru oko osi kroz točku A . Poluga se odvaja od kinetičke kočnice K i nastavlja njihanje sve do položaja koji je određen kutnim pomakom Θ_{max} .

Gibajući se unatrag, poluga se vraća u položaj kontakta s kinetičkom kočnicom, nakon čega se ciklus gibanja ponavlja. Na ovaj način impuls sile izazvan rotacijskim gibanjem dijelova sustava, proizvodi translacijski pomak kutije postolja brzinom \vec{v} .



Slika 6. Model rotacijskog sustava
Figure 6. Model of the rotation system

Na osnovi jednog položaja rotacijskog dijela sustava, slika 6., jednačba gibanja je:

$$I_A \frac{d^2\Theta}{dt^2} = \sum M_A \quad (3)$$

gdje je :

I_A - moment tromosti sustava za os kroz točku A

Θ - kut zakreta poluge

$\sum M_A$ - zbroj svih momenata oko osi kroz točku A

Izraz (3) se može napisati:

$$\left(\frac{1}{2} M_d r^2 + M_d \overline{OA}^2 + M_m \overline{OA}^2 + I_{pA} + m a^2 \right) \frac{d^2\Theta}{dt^2} = F_i d - M_d g \overline{OA} \sin\Theta - (M_p + M_m) \cdot g b \sin\Theta - mg [r \sin(\varphi - \Theta) + \overline{OA} \sin\Theta] - F_{cor} d$$

gdje je :

M_d - masa diska,

M_m - masa motora,

M_p - masa poluge,

m - rotacijska masa (nebalansirana),

I_{pA} - moment tromosti poluge za os kroz točku A , $\varphi = \omega t$,

$$a = \sqrt{\overline{OA}^2 + r^2 - 2\overline{OA}r \cos\varphi},$$

$$b = \overline{AC}, d = \overline{OA} \sin\varphi$$

$F_i = mr\omega^2$ - inercijska (centrifugalna) sila

$$F_{cor} = 2mr\omega \frac{d\Theta}{dt} - \text{Coriolisova sila}$$

Rješavanjem jednačbe (4), uz početne uvjete:

$$t = 0, \quad \Theta = 0, \quad \frac{d\Theta}{dt} = 0, \quad \frac{d^2\Theta}{dt^2} = 0$$

(periodička promjena – period $T = \frac{2\pi}{\omega}$), dobiva

se $\Theta = \Theta(t)$, čime je određen i maksimalni iznos kuta njihanja Θ_{max} , kao i kut φ koji određuje položaj rotacijske mase m u trenutku kontakta s kinetičkom kočnicom. Na osnovi tih vrijednosti slijedi da je energija koja se predaje kinetičkoj kočnici:

$$E = \frac{1}{2} I_A \Omega^2 = (M_p + M_m)gb(1 - \cos\Theta_{max}) + M_d g \overline{OA}(1 - \cos\Theta_{max}) + mgh \quad (5)$$

gdje je h - visina spuštanja mase m iz položaja definiranog s Θ_{max} u položaj trenutka kontakta.

Iz impulsa sile I predanog postolju (kućištu) mase M_k , dobiva se njegova brzina v neposredno nakon kontakta:

$$v = \frac{I}{M_k} = \frac{\sqrt{2(M_m + M_p + M_d + m)E}}{M_k} \quad (6)$$

Primjenom razmatranog sustava za pogon broda, moguće je ostvariti niz prednosti nad postojećim propulzijskim sustavima jer se može postići veća brzina, znatno je bolji omjer snaga- težina, znatno su bolje manevarske sposobnosti broda i sl. Svakako da ostaje otvoreno pitanje da li će primjenom ovakvog sustava propeler s broda nestati!?

4. Zaključak Conclusion

Električna propulzija danas na brodovima nalazi široku primjenu. Njezinom primjenom postiže se dobra manevarska fleksibilnost, veoma dobra dinamika manevriranja, brza promjena na brodom vijku, ograničenje sila na primarnom pokretaču, spriječava se povrat snage. Osim toga omogućuje simuliranje brodske mreže, teretne crpke i pramčane propelere. Koji sustav primijeniti očito je predmet istraživanja i analiziranja. Općenito se može reći da će izmjenični sustav imati znatnu prednost nad istosmjernim kada se radi o sustavima velikih porivnih snaga, a osim toga ima prednost u pogledu težine, cijene, veličine i jednostavnijeg održavanja.

Istosmjerni sustav rabi se tamo gdje je manja snaga poriva, a istosmjerno-izmjenični sustav također se upotrebljava za sustave manjih snaga ali sa znatno manjim gubicima u odnosu na istosmjerni sustav. Prednost se daje sinkronim motorima u odnosu na motore istosmjerne struje jer pokazuju bolje sposobnosti na moru (nema klizne kontakte); motori sa velikim "air-grap" su robusniji; smanjenje je održavanje; optimalna efikasnost; neograničena snaga i brzina, širi izbor odnosa napona i struje.

Ovisno o tipu broda, namjeni, izboru općeg elektroenergetskog sustava na brodu, koji je ovisan o više parametara, te sagledavanjem svih faktora može se izvršiti valjan odabir sustava el. poriva.

Bilješke

References

- [1] Krčum, M.: Ship Propulsion System, Elmar 39th International Symposium Proceedings, Zadar, 1997.
- [2] Hodge, C., Mattick, D.: The electric warship, The institute of Marine Engineers, Transactions, Volume 108, Part 2, 1996.
- [3] M. Klaić: Električna propulzija brodova – razvoj, stanje i tendencije, Automatika 37, 1996.
- [4]*** CGE Alstom, Electrical Ship propulsion, Belfort, 1987.
- [5] J. Vila, I. de la Liana, J. Santamaria, A. Davallio, P. Tabuena, T. Aquado, M. Cuesta, A. Kulb: Can the Propeller from Ship Disappear?, Proceedings of the Second International Conference on Marine Industry, MARIND '98, Volume II, Varna, Bulgaria, 1998.
- [6] M. Milković: Brodski električni uređaji i sustavi – I dio, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Dubrovniku, Dubrovnik, 1996.
- [7] ***ABB Marine, Electrical propulsion and Power Plants Applied in recent Tanker Newbuildings, Helsinki, 1995.
- [8] Arpianin, M., Juurma, K., Niini, M., Jarvinen, K., Noble, P., Naval architecture and marine Engineering of Electric Ships, Past, Present and Future, ABB Stromberg Drives, Helsinki and Kvaerner Masa Marine, Vancouver, 1993.
- [9] Courty, R., Viard, A., Diesel-electric propulsion: The Best System for Cruise Ships, Alstom, Belfort, 1987.
- [10] L.E. Goodman, W.H. Warner: Dynamics, Wadsworth Publ. Comp. Inc., Belmont, California, 1963.

Rukopis primljen: 11.1.1999.