

OPTIMIZACIJA SUSTAVA UPRAVLJANJA ENERGIJOM NA PLOVILIMA

Maja Krčum, Anita Gudelj*

*Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, Zrinsko – Frankopanska 38, Split

Dario Šundrica**

**Pomorsko-tehnička škola Dubrovnik, Miljenka Bratoša 4, Dubrovnik

Sažetak

Elektroenergetski sustav broda se sastoji od izvora električne energije koje predstavljaju generatori izmjenične struje, potrošača i sustava za razdiobu električne energije. Brodski elektroenergetski sustav je specifičan i izolirani sustav bez napajanja iz kopnenog elektroenergetskog sustava. U brodskim elektroenergetskim sustavima pojavljuje se veliki broj nelinearnih opterećenja koja ovise o trenutnim zahtjevima i nije jednostavno ostvariti isporuku električne energije svim potrošačima u svakom trenutku. U brodskom elektroenergetskom sustavu veliki je broj električnih komponenti koje su direktno ovisne jedna o drugoj na relativno malom prostoru pa kvar u jednom dijelu sustava može znatno utjecati na druge dijelove brodskog elektroenergetskog sustava. Sigurna i učinkovita isporuka energije na čistom moru, čisti okoliš, razvoj odgovarajućih projektantskih ideja, operativna znanja i alati za procjenu, posebno za energetske učinkoviti dizajn i rad brodova, je ono što zahtijeva IMO. Dizajn budućeg broda zahtijeva razvoj novih i sve sofisticiranijih metoda za modeliranje i simulaciju složenih sustava koji moraju biti integrirani kako bi se proizvela ukupna energija na brodu. Arhitektura sustava upravljanja distribucijom električne energije mora biti hijerarhijska, distribuirana i lako prilagodljiva. Logistički lanac upravljačke arhitekture predmet je izrade modela pomoću obojene Petrijeve mreže (CPN), s ciljem povezivanja učinkovitih sredstava za autonomno upravljanje složenim distribuiranim sustavima sa sredstvima za upravljanje brodskim elektroenergetskim sustavom.

OPTIMIZATION OF THE POWER MANAGEMENT SYSTEM ON THE SHIP

Abstract

Electrical power system of a ship consists of power generators, consumers and distribution system. Shipboard power system is a specific isolated system with only local generation providing power to loads in the system. There is a large portion of nonlinear loads relative to the power generation capability. The defining property of a shipboard power system is a large number of electric components that are tightly coupled in a small space and when a fault happens in one part of the system, it may affect other parts of the system. Safe, secure and efficient shipping on clean oceans, suggested by IMO requires the development of appropriate designs, operational knowledge and assessment tools for energy efficient design and operation of ships. The design of a future ship will require the development of new and increasingly sophisticated methods for modelling and simulation of complex systems that must be integrated in order to produce the total energy

consumption of a ship. Control architecture for power distribution systems has to be hierarchical, distributed and easy to adapt. A complete logistic chain of this control architecture will be modelled by Coloured Petri Net (CPN), which connects effective agents for autonomous control of complex distributed systems with agents for the control of power management systems.

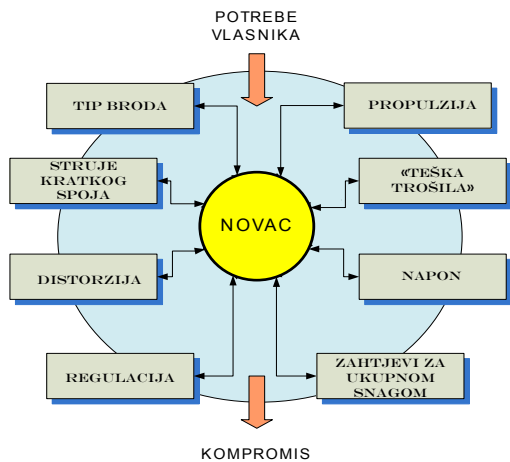
1. UVOD

Brodski elektroenergetski sustav predstavlja sve složeniji upravljački izazov. U odnosu na kopneni elektroenergetski sustav, brodski sustav ima širi raspon frekvencija, a duljine kabela su znatno kraće što doprinosi smanjenim elektroenergetskim gubicima te znatno manjim padovima napona. Takav sustav nosi određene specifičnosti pa se projektiranje upravljačkih rješenja ne svodi isključivo na preuzimanje gotovih rješenja s kopna. Sustav upravljanja brodskim elektroenergetskim sustavom (PMS) ima za cilj optimalno upravljati svim energetske resursima na brodu kao i potrošnjom električne i druge energije. Cilj sustava je također i smanjenje operativnih troškova što se postiže minimiziranjem kvarova [1]. Sustav upravljanja proizvodnjom i razdiobom električne energije je kritični dio upravljačke razine na brodu. Obično se razdioba vrši na raznim kontrolnim postajama koje mogu raditi zajedno dijeleći informacije ili samostalno u slučaju izvanrednih situacija u kojima brod mora obavljati svoje funkcije. Sustav postaje sve složeniji primjenom obnovljivih izvora energije, zbog posebnih pravila koje donosi Međunarodna pomorska organizacija (IMO).

Cilj ovog rada je predstaviti glavne projektantske smjernice i zahtjeve kojima podliježe projektiranje ovog sustava u općenitom smislu. Posebni je cilj predstaviti novi sustav upravljanja pomoću obojenih Petrijevih mreža (CPT). Osim zahtjeva čisto tehničke prirode, u posljednje vrijeme jačaju i formalno ne-tehnički zahtjevi koji utječu na projektiranje PMS-a. S jedne strane su to ekonomski zahtjevi za sve većom efikasnošću koje postavljaju brodarske tvrtke i brodovlasnici. S druge strane svakodnevno jačaju regulatorni pritisci koji imaju za cilj smanjenje onečišćenja okoliša i ograničavanje globalnog zatopljenja. Regulatorni utjecaji dolaze prvenstveno kroz promjene u IMO-voj MARPOL konvenciji, odnosno njenom s Aneksu VI. Posljednje promjene koje se odnose na brodove koji su izgrađeni nakon 1. Srpnja 2015. i ne posjeduju hibridni ili dizel-električni poriv uključuju novo četvrto poglavlje. To poglavlje uvodi smjernice za poboljšanje energetske učinkovitosti projektantskim i operativnim mjerama. Ti novi zahtjevi utječu na potrebu uvođenja novih upravljačkih rješenja kao i novih izvora energije na brod.

2. ZAHTJEVI ZA PROJEKTIRANJE BRODSKOG PMS-A

Sustav upravljanja brodskim elektroenergetskim sustavom (PMS) je kritični dio brodskog elektroenergetskog. To se posebno odnosi na brodove s električnim porivom i/ili mogućnošću dinamičkog pozicioniranja. Glavni zadatak upravljačkog sustava je upravljanje proizvodnjom električne energije. Od velike je važnosti također i održavanje dostupnosti električne energije kao i sprječavanje neplaniranih prekida u opskrbi električnom energijom. Ovisno o tipu i veličini elektroenergetske mreže, PMS može biti odvojen sustav ili se može obaviti njegova integracija u brodski sustav upravljanja. Izbor porivnih strojeva i zahtjevi klasifikacijskih društava imaju utjecaja na projektiranje električne mreže broda. SOLAS-ova (International Convention for the Safety of Life at Sea) pravila, država čiju zastavu brod vije i lučke vlasti propisuju osnovni nivo sigurnosti. Ostali faktori koje je potrebno uzeti u obzir su redundantni porivni kapacitet, nepostojanje stalne službe u strojarnici, 'zeleni brod' [2]. Što se tiče obnovljivih izvora energije, može se reći da svi naizgled oprečni projektantski zahtjevi prikazani na Slici 1. zapravo potiču njihovu što širu primjenu. Razlog tome je interes brodovlasnika za smanjenjem potrošnje goriva jer gorivo predstavlja velik dio operativnih troškova broda. Smanjena potrošnja goriva ima za posljedicu smanjenje emisija ugljikovog dioksida kao i drugih štetnih plinova i čestica. Sustavi koji uključuju obnovljive izvore energije, dakle hibridni sustavi napajanja, imaju svoje mane. Hibridni sustav mora imati veću instaliranu snagu od klasičnog zbog stohastičke prirode obnovljivih izvora. Kod sustava s većim udjelom obnovljivih izvora može doći u pitanje i stabilnost sustava. Za adresiranje svih tih problema te za optimalno upravljanje proizvodnjom i potrošnjom energije potrebno je pronaći nova upravljačka rješenja.



Sl. 1. Projektiranje brodske električne mreže [2]

2.1. Utjecaj hibridnog sustava na PMS

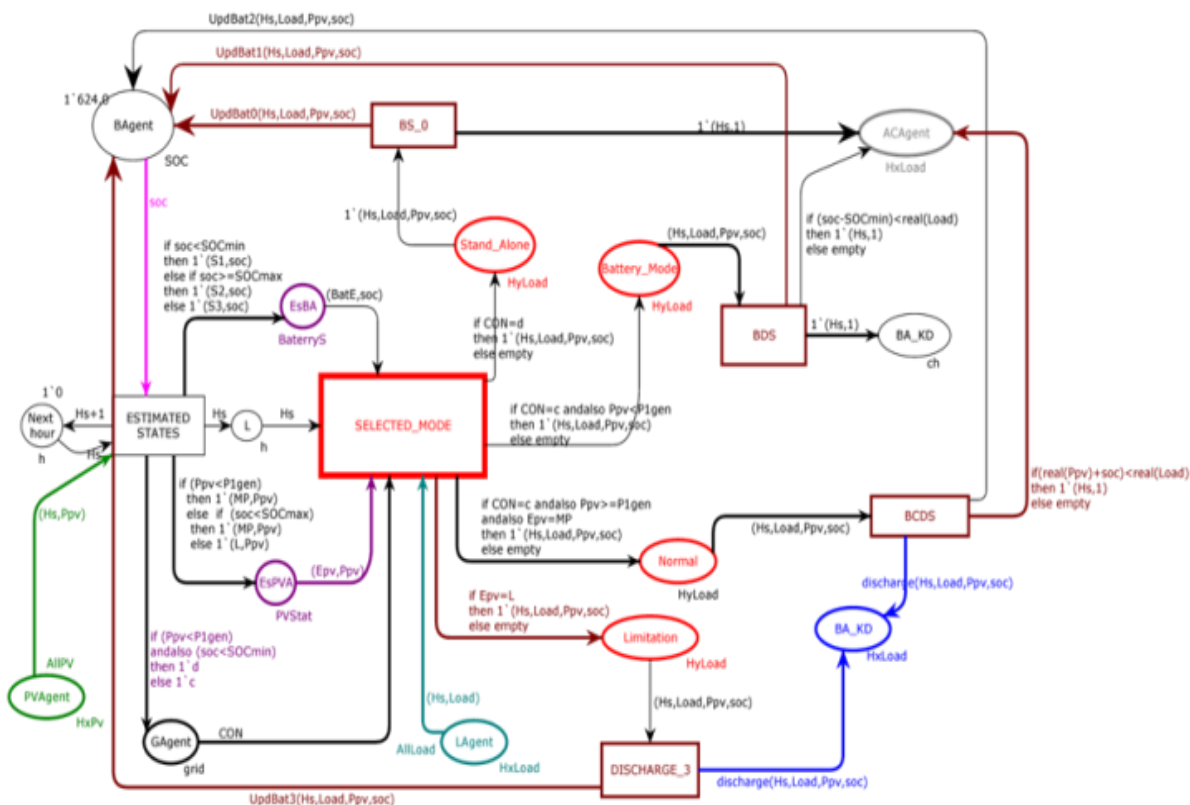
Kao što je već rečeno, uključivanje obnovljivih izvora energije u brodski elektroenergetski sustav pridonosi smanjenju emisija prvenstveno stakleničkih plinova, ali i štetnih organskih čestica. Zbog stohastičke prirode obnovljivih izvora energije nameće se ideja spremanja energije u baterije. Solarni paneli su osobito podesni za punjenje baterija. Upotreba baterija međutim nameće i određene probleme. Najveći problem baterija u slučaju kad je instalirana snaga u baterijama dovoljno mala u usporedbi s cjelokupnom instaliranom snagom na brodu je održavanje temperature baterija unutar propisanih vrijednosti. Održavanje temperature u zadanim vrijednostima postiže se ograničavanjem struja i napona baterija. Hibridni sustavi s većim udjelom obnovljivih izvora u instaliranoj snazi predstavlja veći izazov PMS-u. U ovom specifičnom slučaju poseban je osvrt dan za baterije. Svojstvo baterija da ne mogu brzo doseći svoju instaliranu snagu može potencijalno ugroziti stabilnost elektroenergetskog sustava. Taj problem se može rješavati dodavanjem redundantne instalirane snage u sustav što umanjuje korisnost i primjenjivost takvog sustava. Dodatna instalirana snaga, osim što zauzima skupi brodski prostor, ujedno i smanjuje ekonomičnost pogona brodskih dizelskih motora jer oni zbog redundantne snage uglavnom rade suboptimalno. Problem sporog odziva baterija bi se mogao riješiti ugradnjom zamašnjaka u hibridni sustav čija bi svrha bila premošćivanje manjka snage u periodu dok baterije ne dosegnu svoju nazivnu snagu što bi obnovljive izvore energije učinilo balansiranim.

2.2. Eksperimentalni model PMS-a za upravljanje hibridnim sustavom

Zbog kompleksnosti upravljačkih problema koji nastaju povećanjem udjela obnovljivih izvora energije, a odnose se prvenstveno na stabilnost sustava, u ovom radu predložen je model PMS-a za upravljanje elektroenergetskim sustavom s malim udjelom obnovljivih izvora energije. Obnovljivi dio sustava se sastoji od solarnih panela i baterija. Zbog ranije objašnjenih ograničenja baterija te vremenskih uvjeta koji utječu na rad fotonaponskih ćelija, PMS mora biti u mogućnosti djelovati u četiri različita režima rada. Prvi, *stand alone mode*, nastupa kad nema dovoljno snage iz solarnih panela i baterija. Tad se cijeli obnovljivi dio sustava isključuje s mreže te se napajanje obavlja iz konvencionalnih izvora. Sljedeći, *battery mode*, služi u situaciji kad je potrošnja veća od dostupne snage iz obnovljivih izvora. U tom režimu se baterije prazne dok ostatak snage dolazi iz mreže. Treći režim rada, *normal mode*, se aktivira slučaju da dostupna snaga iz obnovljivih izvora nadmašuje ili je jednaka potrebama, a baterije još nisu potpuno pune. Mreža se napaja iz obnovljivih izvora. Ako postoji višak energije, on se sprema u baterije. Ako solarni paneli ne proizvode dovoljno energije, manjak se nadoknađuje iz baterija. Četvrti režim rada, nazvan *limitation mode3* predstavlja situaciju kad postoji višak snage iz solarnih panela, a baterije su pune. Opisana četiri režima rada i uvjeti za njihov nastanak predstavljaju složeni upravljački problem. Rješenje za ovaj problem korištenjem obojenih Petrijevih mreža predloženo je na slici 2.S obzirom na to da Petrijeve mreže (PN) simuliraju sva stanja i prijelaze prilično jednostavnim prenošenjem oznaka (*tokens*), grafički prikaz čak i jednostavnog sustava je prilično kompliciran. Kod obojene Petrijeve mreže čvor mjesta može biti različite boje ovisno o stanju te prijelazni čvorovi prepoznavajući boju vide stanje njima slijedećih čvorova mjesta. Ova svojstva značajno pojednostavljuju grafiku predodžbu Petrijeve mreže te joj poboljšavaju i efikasnost. Na temelju ranije iznesenih zahtjeva razvijen je cjeloviti višeslojni model PMS-a koji sadrži pet tipova agenata. To su fotonaponski agent (PVAgent), baterijski agent (BAgent), mrežni agent (GAgent), agent opterećenja (LAgent) i agent AC generatora (ACAgent). Pomoću agenata i oznaka koje nose podatkovnu vrijednost zadanog tipa, a

predstavljene su bojama na slici, moguće je poboljšati sustav upravljanja.

Iznesen je prijedlog sustava upravljanja za jedan elektroenergetski sustav s malenim udjelom



SI. 2. Obojena Petrijeva mreža broskog hibridnog elektroenergetskog sustava

Konflikt nastaje pri prijelazu iz upravljačkog čvora SELECTED_MODE u bilo koji od radnih režima. Rješenje konflikta se određuje evaluacijom izraza u granama koje se zovu funkcije grana. Projektirani sustav je distribuiran, konkurentan i nedeterministički. Može ga se iskoristiti kao testnu platformu za daljnji razvoj te predstavlja metodološki napredak.

3. ZAKLJUČAK

U radu je objašnjena funkcionalnost i motivacija za promjene u sustavima za upravljanje brodskim elektroenergetskim sustavom. Prezentirani su projektni zahtjevi, glavni ciljevi i ograničenja takvog sustava. Također je objašnjena i potreba za uvođenjem hibridnih sustava proizvodnje električne energije na brod kao i utjecaj takve proizvodnje na brodski elektroenergetski i upravljački sustav uz osvrt na utjecaj regulatora na takav razvoj događaja.

obnovljive energije instalirane u baterijama i fotonaponskim ćelijama. Sustav upravljanja razvijen je upotrebom obojene Petrijeve mreže uz poštivanje svih zahtjeva navedenih u radu te su njegovi glavni dijelovi objašnjeni u radu. Razumno je pretpostaviti da će sve veće mogućnosti prijenosa podataka i rastuća snaga računala oboruzati projektante novim idejama. Zasiurno će te promjene u tehnološkim mogućnostima kao i sve restriktivnija regulativa imati utjecaja na razvoj novih upravljačkih ideja i topologija koje će još više integrirati računalnu i upravljačku znanost.

4. LITERATURA

- [1] Häkkinen, P., Reliability of Machinery Plants and Damage Chains, World Maritime Technology Conference San Francisco USA, 17-20 Lokakuuta, US,2003
- [2] Kari Valkeejärvi: The ship's electrical network, engine control and automation, http://www.gallois.be/ggmagazine_2006/gg_03_05_2006_102.pdf, accessed on 29th of august 2015