

Upravljanje i zaštita dizel generatora

Fučak, Fran

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:573502>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

FRAN FUČAK

UPRAVLJANJE I ZAŠTITA DIZEL GENERATORA

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**UPRAVLJANJE I ZAŠTITA DIZEL GENERATORA
CONTROL AND PROTECTION OF DIESEL GENERATOR
ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Automatizacija brodskih sustava

Mentor: Doc. dr. sc. Miroslav Bistović

Student: Fran Fućak

Studijski smjer: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112081013

Rijeka, srpanj 2023.

Student: Fran Fućak

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112081013

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
ZAŠTITA I UPRAVLJANJE DIZEL GENERATORA

izradio/la samostalno pod mentorstvom *doc dr. sc* Miroslava Bistovića

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student/studentica



(potpis)

Ime i prezime studenta/studentice

Student: Fran Fućak

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112081013

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student/studentica – autor



(potpis)

SAŽETAK

U ovom završnom radu opisan je sustav režima rada dizel generatora. Prikazana je proizvodnja i distribucija električne energije na brodu. Nadalje, definirana je zaštita dizel generatora i njegovo upravljanje kako bi brod sigurno obavljao operacije tijekom plovidbe. Osim automatskog sustava opisan je i prikazan PMS koji uvelike olakšava upravljanje dizel agregatom i ostalim uređajima na brodu.

Ključne riječi : dizel generator, električna energija, upravljanje, zaštita, PMS

SUMMARY

In this final work, the diesel generator operating mode system is described. The production and distribution of electricity on the ship is shown. Furthermore, the protection of the diesel generator and its management is defined for the ship to perform operations safely during navigation. In addition to the automatic system, the PMS is described and presented, which greatly facilitates the management of the diesel generator and other devices on the ship.

Keywords: diesel generator, electrical energy, control, protection, PMS

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ELEKTRO ENERGETSKI SUSTAV BRODA	3
3. GENERATOR	5
3.1. OPĆENITO O GENERATORU	5
3.2. DIZEL GENERATOR	6
4. ZAŠTITA DIZEL GENERATORA	9
4.1. ZAŠTITA OD KRATKOG SPOJA	9
4.2. ZAŠTITA OD PREOPTEREĆENJA	11
4.3. ZAŠTITA OD ZEMNOG SPOJA	13
4.4. ZAŠTITA OD MEĐUZAVOJNOG SPOJA	14
4.5. ZAŠTITA OD POV RATNE STRUJE	14
4.6. ZAŠTITA OD PRENAPONA I PODNAPONA	15
4.7. ZAŠTITA BRZOM RAZBUDOM	15
5. UPRAVLJANJE GENERATORA	15
5.1. AUTOMATIZACIJA	15
5.2. OPĆENITO O UPRAVLJANJU	17
5.3. UPRAVLJANJE DIZEL GENERATORA	18
5.4. SUSTAV UPRAVLJANJA ELEKTRIČNE ENERGIJE	20
5.5. AUTOMATSKI REGULATOR NAPONA	22
5.6. UPRAVLJAČKA PLOČA DIZEL GENERATORA	23
5.7. PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLER	24
6. ZAKLJUČAK	27
LITERATURA	28
KAZALO KRATICA	29
POPIS SLIKA	30

1. UVOD

Brodu kao autonomnoj sredini vrlo bitna komponenta je električna energija. Od brodskih električnih sustava zahtjeva se visoka autonomnost, odnosno sposobnost da sve svoje funkcije obavlja neovisno od drugih sustava. Osnovni izvor električne energije na brodu je dizel generator. Dizel generator uz upravljačke i zaštitne segmente omogućava stalni brodski napon i frekvenciju. U radu se analizirati rad generatora, izazove s kojima se suočavaju i inovacije koje potiču njihovu učinkovitost i ekološku održivost. Stiče se dublje razumijevanje kako se brodski dizelski generatori projektiraju, upravljaju i održavaju kako bi zadovoljili jedinstvene zahtjeve pomorske industrije. Pažljivo su dizajnirani da izdrže izazovan morski okoliš, gdje se plovila suočavaju s teškim vremenskim uvjetima, ekstremnim temperaturama i stalnim vibracijama. Generatori mogu pružiti energiju ne samo za pogon, već i za osnovne usluge kao što su rasvjeta, komunikacijski sustavi, hlađenje, ventilacija i razni strojevi na brodu.

Ovaj rad pruža pregled principa rada dizelskih generatora na brodovima, ispitujući vitalne komponente u svrhu njihovog besprijekornog funkcioniranja. Prikazuju se principi odabira veličine i buduća opterećenja generatora, osiguravajući da izlazna snaga odgovara zahtjevima nesmetanog rada, odnosno mora odgovarati bilanci snage potrebne za normalno funkcioniranje svih brodskih uređaja i sustava. Analiziraju se kritični aspekti sustava goriva i učinkovitosti, održavanja i otklanjanja poteškoća te sigurnosni aspekti specifičnim za pomorske primjene.

Brodski elektroenergetski sustav sastoji se i od ostalih brodskih komponenata, kao što su visokonaponska i niskonaponska trošila, transformatori, izmjenjivači, ispravljači i pretvarači frekvencije. Za visokonaponsku mrežu se koristi trofazna izmjenična struja, a za niskonaponsku jednofazna izmjenična struja. Visoki napon na brodu je svaki napon viši od 1000V.

Da bi elektroenergetski sustav broda u potpunosti mogao obavljati namjenu za koju je predviđen, s obzirom na uvjete eksploatacije i zahtjeve sa stanovišta sigurnosti i autonomnosti sustava, od ključne je važnosti precizno odrediti bilancu snage električne energije.

Loš odabir broja i snage generatora rezultira radom većeg broja generatora, a time je potrošnja goriva je veća što se manifestira kroz veće troškove. Snaga koju je potrebno osigurati ovisi o plovidbi, manevriranju, iskrcaju i ukrcaju tereta na brod, sidrenje broda i slično.

Na brodovima je najrašireniji trofazni izmjenični napon 440V /60 Hz. Standardne vrijednosti visokog napona na brodu su 3300 V, 6600 V, 11000 V.

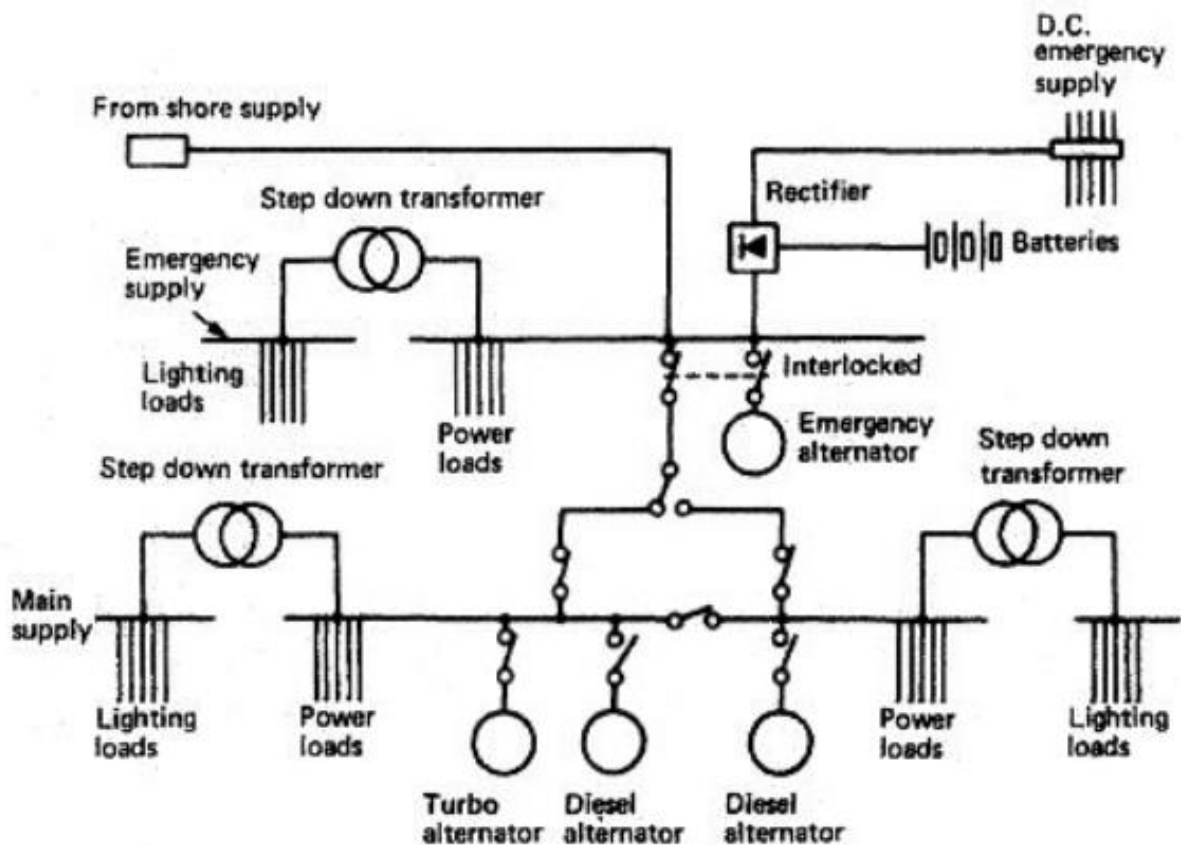
O dizel generatorima ovisi mnogo toga na brodovima pa se samim time njihovom upravljanju i održavanju daje velika pažnja. Zato generatore treba zaštititi od svih mogućih kvarova koji bi naštetili cjelokupnom brodskom elektroenergetskom sustavu.

2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV BRODA

Izvori električne energije na brodu [3]:

- Generatori
- Akumulatorske baterije
- Solarne ćelije
- Napajanje s kopna

Osnovi izvor električne energije na kopnu su sinkroni generatori izmjenične struje. Svaki brod mora imati glavne generatore (najčešće dizel generator) i generator za nužnost. Generatori se dijele prema vrsti pogona i u to spadaju već spomenuti dizel generatori, osovinski generatori i turbo generatori. Snage brodskih generatora mogu biti od nekoliko stotina kVA pa do dvadesetak MVA na velikim putničkim brodovima.



Slika 1: Shematski prikaz elektroenergetskog sustava broda

Izvor: www.machineryspaces.com/emergency-power-supply.html

U podsustave brodskog elektroenergetskog sustava spadaju [4]:

- proizvodnja električne energije (električna energija, generator za nužnost i akumulatorske baterije),
- rasklopni dio (glavna rasklopna ploča, rasklopna ploču za nužnost i ploča rasvjete),
- raspodjelu i prijenos električne energije (kabelska mreža, grijači i razdjelnici snage),
- potrošnja električne energije.

Akumulatorske baterije služe kao izvor istosmjerne električne energije za pričuvu, napajanje pokretača motora s unutarnjim izgaranjem, kao izvori u spoju s osovinskim generatorom, na manjim jedinicama za napajanje brodske mreže za vrijeme mirovanja u luci, za neprekidno napajanje elektroničkih uređaja za potrebe navigacije, komunikacije, automatike, alarma i slično. Prema vrsti baterije se dijele na olovne, alkalijske i litij-ionske baterije. Napajaju se iz izvora koji moraju raditi i tijekom blackouta, te u tom slučaju automatski preuzimaju napajanje. Moraju osigurati električnu energiju minimalno 30 minuta nakon nastanka blackouta.

Prilikom boravka broda u luci, odnosno na doku, brod napajanje dobiva sa kopna te mu generatori ne mogu raditi. Kada se brod priključuje na kopnu postoji postupak koji se mora obavezno poštivati. Koriste se visokonaponski obalni priključci kako bi se smanjila i štetna ispuštanja plinova kako ne bi došlo do zagađenja okoliša.

3. GENERATOR

3.1. OPĆENITO O GENERATORU

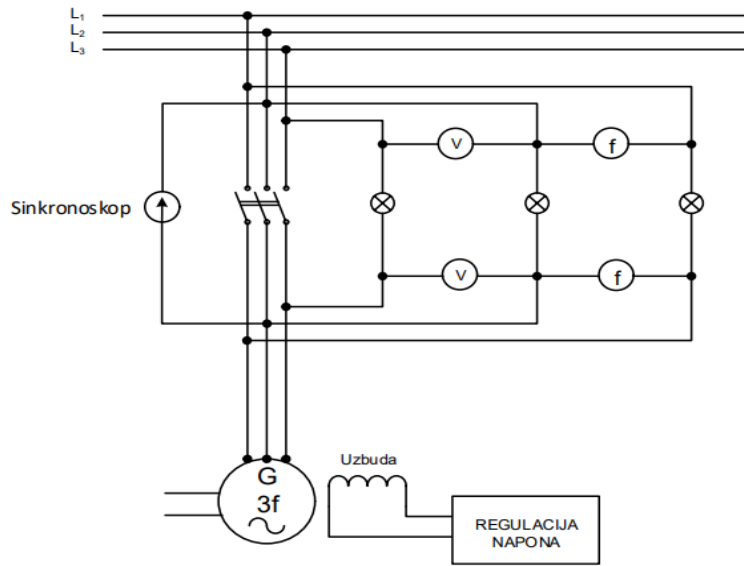
Generatori, u kontekstu proizvodnje električne energije, bitni su uređaji koji mehaničku energiju pretvaraju u električnu energiju. Oni igraju ključnu ulogu u različitim sektorima, od elektrana i obnovljivih izvora energije do prijenosnih generatora koji se koriste za rezervnu energiju. Generator se sastoji od dvije glavne komponente: rotora i statora. Rotor je pokretni dio, obično elektromagnet, dok je stator stacionarni dio koji okružuje rotor. Princip rada generatora je elektromagnetska indukcija. Kada se mehanička energija primijeni na rotor, on se počinje okretati unutar magnetskog polja koje stvara stator. Ovaj pokret potiče protok elektrona unutar vodljivih zavojnica rotora, stvarajući izmjeničnu struju (AC) ili istosmjernu struju (DC), ovisno o dizajnu. Generatori izmjenične struje češći su u proizvodnji energije zbog svoje učinkovitosti i jednostavnosti prijenosa. Broj generatora na brodu određen je propisima tako da u slučaju ispada određenog generatora preostala snaga bude dovoljna za siguran nastavak plovidbe. Na brodu treba biti najmanje dva glavna generatora i jedan za nužnost. Paralelni rad generatora je spajanje više generatora za potrebe potrošnje energije na brodu. Kako bi se povećala sigurnost, u paralelni rad spaja se i više generatora od dovoljnog broja.

Problematika paralelnog rada [4]:

- Sinkronizacija
- Raspodjela djelatne snage [kW]
- Raspodjela jalove snage [kVAr]
- Zaštita od povratne snage

Sinkronizacija je radnja u kojoj se generator uključuje u mrežu. Za obavljanje sinkronizacije obavezno je ispuniti određene uvjete [3]:

1. Isti redoslijed faza generatora i mreže
2. Jednak iznos napona generatora i mreže
3. Približno jednake frekvencije napona generatora i brodske mreže
4. Istofaznost generatora i brodske mreže



Slika 2: Shema spoja za sinkronizaciju generatora

Izvor: predavanja doc. dr. sc. Aleksandar Cuculić

Isti redoslijed faza postiže se već pri samoj izgradnji broda. Inducirani napon podešava se promjenom struje uzbude, dok se približne frekvencije ostvaruje regulacijom brzine pogonskog stroja.

3.2. DIZEL GENERATOR

Najzastupljeniji izvor električne energije na brodu je sinkroni generator sa unutarnjim izgaranjem, a najčešći pogonski stroj je dizel generator. Klasično se koriste samouzbudni sinkroni generatori pogonjenim srednjohodnim motorima. Osovina dizel motora se spaja direktno sa generatorom bez reduktora. Energija za stvaranje uzbude se prenosi na rotorsku stranu elektromagnetskom indukcijom, a diodni ispravljač koji se vrti zajedno sa rotorom ispravlja struju. Automatski regulator napona promjenom struje uzbude (AVR) regulira napon i raspodjelu jalove snage, dok regulator brzine vrtnje održava konstantnu frekvenciju i raspodjelu radne snage. Potrebnu brzinu vrtnje dizel generatora ostvarujemo prema slijedećoj formuli: $n = \frac{60 \cdot f}{p}$

f- frekvencija induciranoog napona

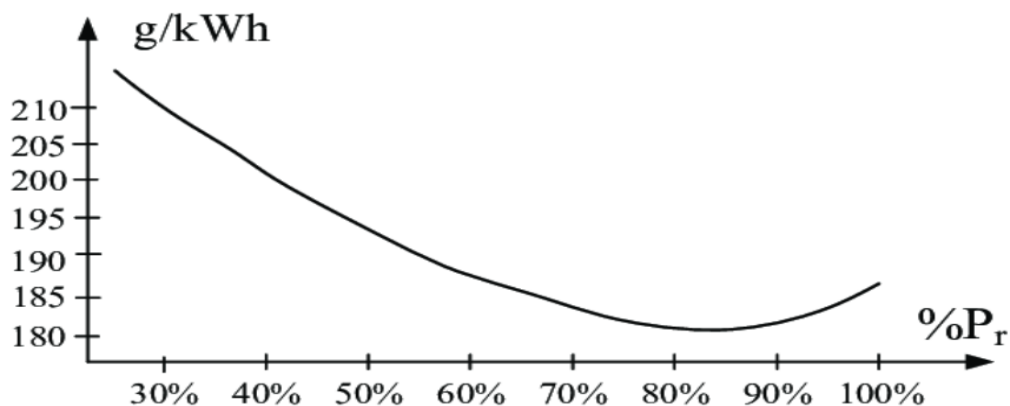
p- broj pari polova generator



Slika 3: Brodski dizel generator

Izvor: <https://gcaptain.com/wartsila-new-46df-dual-fuel-engine/>

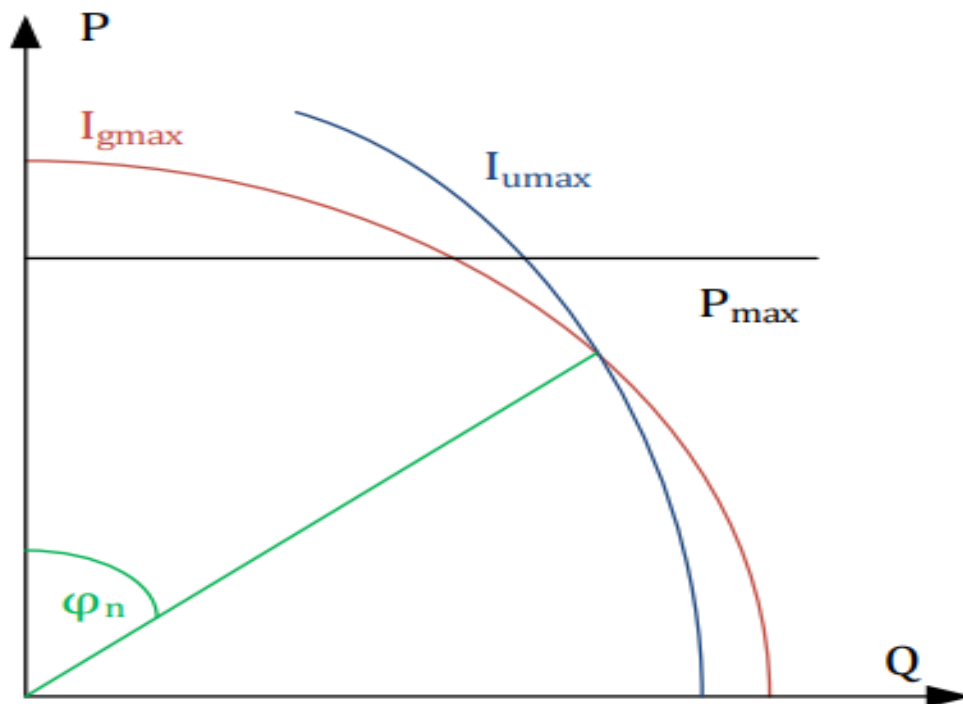
Iskorištenje energije iz goriva koje je izraženo u postocima veoma je bitna odredba svakog dizel generatora. Kod modernih dizel generatora iskorištenje energije iznosi 40% što je vrlo velika korisnost. Ostalih 60% se gubi u emisiji topline i plinova. Efikasnost uvelike ovisi o opterećenju te će ovisno o tome dizel generator trošiti najmanje goriva pri opterećenju od 70-90%. To se na brodovima postiže korištenjem većeg broja generatora manjih snaga. Time se povećavaju troškovi same instalacije ali i održavanja. U današnje vrijeme na brodovima se obično koriste 2-4 dizel generatora.



Slika 4: Specifična potrošnja goriva dizelskog motora srednje brzine

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Specific-fuel-consumption-of-a-medium-speed-diesel-engine-21_figl_330746760

Dozvoljeno područje rada dizel generatora prikazano je pogonskim dijagramom u P-Q (djelatna snaga- jalova snaga) koordinatnom sustavu. Nazivna snaga generatora je prividna snaga S koja ovisi o maksimalnoj struji statora (I_{gmax}). Drugo ograničenje je maksimalna rotorska struja odnosno uzbudna struja (I_{umax}). Nazivni $\cos\varphi$ sinkronog generatora je najniži faktor snage potrošnje kod kojeg generator još uvijek može razviti svoju nazivnu snagu. Nazivni $\cos\varphi$ je na dijagramu prikazan kao sjecište kružnica I_{gmax} i I_{umax} .



Slika 5: Pogonski dijagram dizel generatora

Izvor: predavanja Doc. Dr. Sc. Aleksandar Cuculić

Asinkroni motori na brodu troše najviše električne energije te se zbog toga za računanje uzima $\cos\varphi$ od 0,8. Kod induktivnog opterećenja sinkronog generatora pad napona je veći u usporedbi sa djelatnim opterećenjem te je zbog toga potrebna veća struja uzbude za induktivna trošila. Pri tome uzbudni namotaj nije poželjno predimenzionirati jer se time nazivni napon ne bi mogao zadržati i kod pune nazivne snage kada opterećenje ima vrlo niski $\cos\varphi$ koji bi bio niži i od potrošnje koja je bila predviđena. Maksimalna i minimalna ograničenja djelatne snage (P_{max} i P_{min}) odnose se na pogonski stroj odnosno dizel motor koji ne može trajno raditi pri malim opterećenjima i ne može dati predviđenu snagu.

4. ZAŠTITA DIZEL GENERATORA

S obzirom da je dizel generator glavni izvor električne energije na brodu potrebno je za njega primijeniti mjere zaštite. Generator je izravno priključen na sabirnice od glavne rasklopne ploče te u takvom sustavu postoji mogućnost od kvarova, oštećenja, prestanka napajanja, požara i ostalih opasnosti od kojih je potrebno zaštititi. Generatore osiguravamo ugradnjom zaštitnih uređaja te sustav zaštite prati određene parametre te se njihove vrijednosti moraju kretati unutar dozvoljenih vrijednosti te u slučaju prelaska tih vrijednosti sustav zaštite se aktivira i djeluje. Sustav zaštite mora biti: pouzdan, siguran i jednostavan za rukovanje i održavanje.

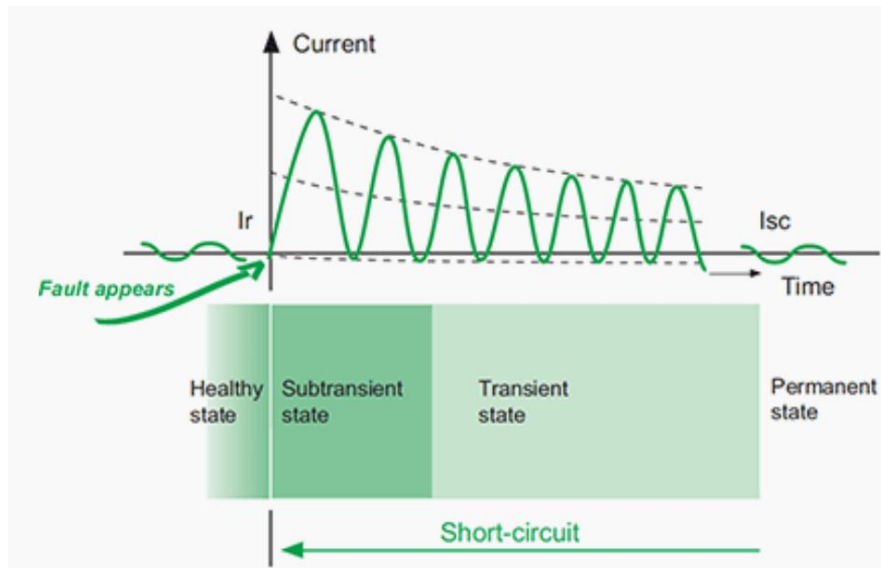
U sustav zaštite se ubraja [3]:

- Zaštita od kratkog spoja
- Zaštita od preopterećenja
- Zaštita od zemnog spoja
- Zaštita od povratne struje
- Zaštita od među zavojnog spoja
- Zaštita od prenapona i pod napona
- Zaštita brzom razbudom

4.1. ZAŠTITA OD KRATKOG SPOJA

Kratki spojevi predstavljaju značajan rizik za rad i cjelovitost dizelskih generatora. Oni mogu uzrokovati ozbiljna oštećenja električnih komponenti generatora, što dovodi do skupih popravaka, zastoja i potencijalnih sigurnosnih opasnosti. Provedba učinkovitih mjera zaštite od kratkog spoja ključna je za zaštitu generatora i osiguravanje njegovih pouzdanih performansi. U trenutku nastanka kratkog spoja sustav se mora isključiti u što kraćem roku. Ugradnja odgovarajućih prekidača ključna je za zaštitu dizelskih generatora od kratkog spoja. Prekidači su dizajnirani za automatsko otkrivanje prekomjernog protoka struje i prekidanje kruga, sprječavajući daljnja oštećenja. Oni djeluju kao prva linija obrane brzim izoliranjem zahvaćenog kruga i prekidom napajanja. Prekidači odgovarajuće veličine i nazivnih vrijednosti trebaju biti instalirani na kritičnim točkama električnog sustava generatora, kao što su glavni izlaz i pojedinačni krugovi grana. Ugradnja releja je neophodna za kvalitetnu zaštitu od kratkog spoja.

Da bi se zaštitni relej aktivirao neophodna je određena struja kratkog spoja te za tu potrebnu struju treba se izračunati prekidna moć prekidača. Potrebna najveća dopuštena struja izračuna se pomoću zbroja svih serijskih impedancija između inducirano napona na generatoru i pogonskom stroju koji je priključen na generator.



Slika 6: Struja kratkog spoja

Izvor: <https://electrical-engineering-portal.com/calculating-the-short-circuit-current-synchronous-generator>

Kada se snaga postupno povećava, struja smanjuje prolazak kroz tri karakteristične faze:

Subtranzijentno stanje- omogućavanje određivanja kapaciteta zatvaranja prekidača te prosječno traje oko 10ms.

Tranzijentno stanje- postavlja toplinska ograničenja opreme i traje oko 250 ms

Trajno stanje- vrijednost struje kratkog spoja u stabilnom stanju.

Formula za izračunavanje struje kratkog spoja:

$$I_{sc} = \frac{I_r}{X_{sc}}$$

State	Subtransient X''_d	Transient X'_d	Permanent X_d
X_{sc}	10 – 20%	15 – 25%	200 – 350%

Slika 7: najčešće vrijednosti za sinkroni generator

*Izvor: Calculating the short-circuit current across the terminals of a synchronous generator
(electrical-engineering-portal.com)*

Selektivna zaštita od kratkog spoja nam omogućuje da se isključi najmanji dio sustava na kojem je nastao kvar. Za prorađu selektivne zaštite postoje četiri načina: [4]

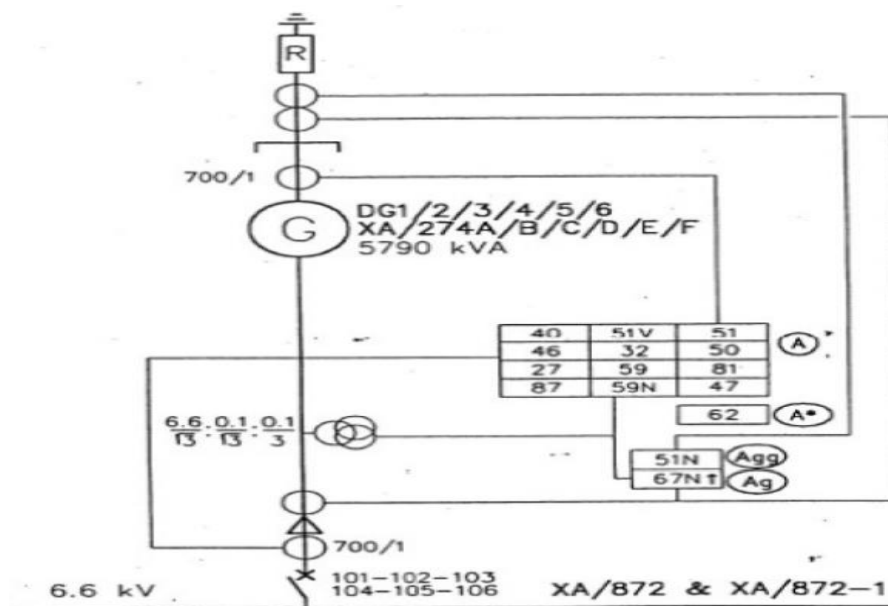
1. Selektivnost po struji
2. Selektivnost po vremenu
3. Kombinirana selektivnost
4. Zonska selektivnost

Selektivnost po struji koristi se u rasvjeti i malim razdjelnicima snage. To je veoma brzi sustav zaštite koji se temelji na brzom proradi osigurača sa manjom nazivnom strujom te u vrlo kratkom vremenu isključuje dio sustava i tako sprječava veća oštećenja. Selektivnost po vremenu se zasniva na kašnjenju kod svakog višeg prekidača od 0,2s. Na taj način krajnji osigurači izbacuju odmah, a prekidači preko kojih je izvedeno napajanje kasne 0,4s. prednost je jednostavno projektiranje ali kratki spoj traje duže i uzrokuje veća oštećenja na mjestu kvara. Kombinirana selektivnost je kombinacija strujne i vremenske te se najviše koristi. Zonska selektivnost je najmodernije ali i najskuplje rješenje za kratki spoj. Sabirnica se štiti tako da nadređeni prekidač isključuje samo ako ni jedan od odvodnih prekidača ne dojavljuje kratki spoj i djeluje gotovo trenutno.

4.2. ZAŠTITA OD PREOPTEREĆENJA

Preopterećenje uzrokuje ispad generatora iz pogona. Kod generatora razlikujemo dvije vrste preopterećenja; kratkotrajno i dugotrajno preopterećenje. Kratkotrajno preopterećenje je

česta pojava koja nastaje priključenjem više trošila na mrežu te je manje opasno od dugotrajnog preopterećenja. Pad napona kod kratkotrajnog preopterećenja ne smije pasti ispod 80% na samom generatoru u 1,5s, te ne smije porasti iznad 120% u istom vremenskom razdoblju. Kada se preopterećenje zadrži u ovom vremenskom periodu nema opasnosti jer se namotaji generatora ne mogu zagrijati u tako kratkom vremenu. Generator mora biti dizajniran da pretrpi takva opterećenja zbog sigurnosti broda, posade i tereta.



Slika 8: Primjer zaštite generatora

Izvor: predavanja Doc. Dr. Sc. Aleksandar Cuculić

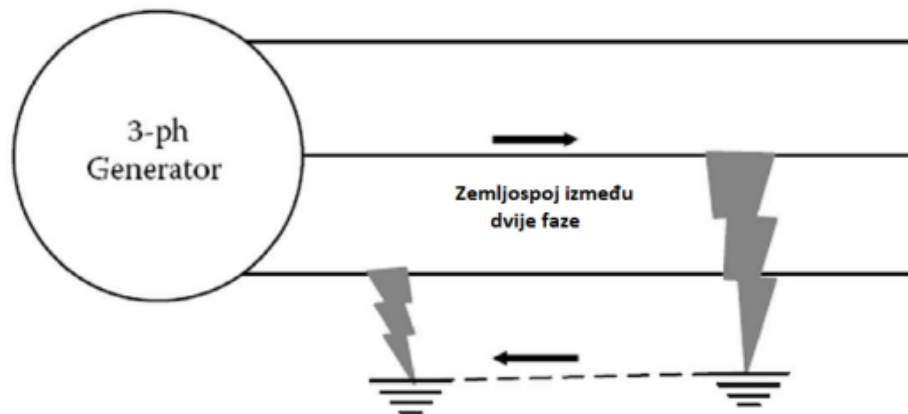
Dugotrajno preopterećenje nastaje priključenjem većeg broja potrošača čija je snaga veća od nazivne snage generatora u vremenu između 20-60s. Pojava dugotrajnog preopterećenja može izazvati kvarove i opasnosti velikih razmjera pa se za zaštitu od dugotrajnog preopterećenja koriste elektronički releji. Elektronički relej, uz pomoć struje otkriva preopterećenje. Kada dođe do preopterećenja elektronički relej aktivira svoj vremenski član koji dalje nastavlja programirati naredbe. Ako se opterećenje ne vrati u zadane vrijednosti u određenom vremenu električni relej sam počinje izbacivati iz mreže trošila nevažna za glavne eksploatacijske i radne zadatke. Time se smanjuje cijelokupno preopterećenje na samom generatoru i ostatku mreže.

4.3. ZAŠTITA OD ZEMNOG SPOJA

Zemni spoj je pojava kada kabel odnosno vodič dođe u kontakt sa masom te nastaje kratki spoj. U tom trenutku električni vremenski relej izbacuje sklopku čime se i generator izbacuje iz pogona. Razlikujemo dva tipa zemnog spoja:

- Neuzemljeni električni sustav
- Uzemljeni električni sustav (preko otpora, direktno)

Neuzemljeni električni sustav na brodu odnosi se na sustav u kojem električni krugovi i oprema nisu spojeni na električno tlo ili zemlju. U ispravno uzemljenom sustavu uspostavlja se veza između električnog sustava i tla kako bi se osigurala sigurnost i zaštita od električnih kvarova. Oplata broda se zbog parazitskih kapaciteta nalazi u zvijezdištu generatora.



Slika 9: Neuzemljeni sustav sa zemnim spojem između dvije faze

Izvor: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781003191513/shipboard-electrical-power-systems-mukund-patel>

Spoj s masom se može detektirati zemno spojnim lampama. Kod zemno spojne lampe jedan od električnih kontakata (obično metalno kućište ili kućište svjetiljke) spojen je na žicu za uzemljenje električnog sustava. Ovaj priključak služi kao sigurnosna mjera za zaštitu od električnih udara i kvarova. Greške nema sve dok svijetle tri lampe za sve tri faze. U slučaju kvara na pojedinom mjestu odnosno zemnog spoja jedna lampa prestaje svijetliti i na taj način signalizira grešku. Pri korištenju zemno spojnih lampi neophodno je slijediti smjernice i propise o električnoj sigurnosti, kao što su pravilna ugradnja, održavanje i redoviti pregled kako bi se

osigurala učinkovitost sustava uzemljenja i ukupna sigurnost. Kod sustava u kojem je zvijezdište generatora uzemljeno preko otpornika smanjuje se porast napona kod spoja s masom. Struja zemnog spoja u ovoj izvedbi ne smije prelaziti 20A te se prema tome dimenzionira otpor između oplata broda i zvijezdišta generatora. Kod sustava sa direktno uzemljenim zvijezdištem nema potrebe za zaštitom jer svaki zemni spoj predstavlja kratki spoj i samim time ga štite uređaji za zaštitu od kratkog spoja.

4.4. ZAŠTITA OD MEĐUZAVOJNOG SPOJA

Uzroci nastanka međuzavojnog spoja mogu biti oštećenja, pregrijavanja, vlaga, mehaničke sile i drugi negativni faktori. Struja koja nastaje kao posljedica međuzavojnog spoja veoma je velikog iznosa i može prouzročiti oštećenja namotaja generatora zbog oslobađanja topline. Međuzavojna struja još uzrokuje promjenu magnetskih svojstava zato što utječe na magnetsko polje generatora. Pad napona kod međuzavojnog spoja u fazi koja je u kvaru uzrokuje pomak zvijezdišta te vektorski zbroj tri faze više nije jednak nuli.

4.5. ZAŠTITA OD POVRATNE STRUJE

Zaštitu od povratne struje generatora važno je uzeti u obzir pri spajanju generatora na električni sustav. Povratna struja generatora, poznata i kao povratno napajanje ili povratni tok, odnosi se na protok električne struje iz generatora natrag u komunalnu mrežu ili druge dijelove električnog sustava. Povratna struja generatora može predstavljati značajan sigurnosni rizik za radnike ili pojedince koji rade na električnom sustavu tijekom nestanka struje. Također može oštetiti generator, električnu opremu ili čak izazvati požar. Za zaštitu od povratne struje generatora možemo upotrijebiti nekoliko uređaja. Prekidač za prijenos je uređaj koji izolira generator mreže. Osigurava da je snaga generatora sigurno usmjerena na željene krugove ili opterećenja, istovremeno sprječavajući povratni protok struje u mrežu. Između generatora i glavne električne ploče treba ugraditi uređaje za odvajanje, poput glavnog prekidača ili izolacijskog prekidača. To omogućuje jednostavno isključivanje generatora iz sustava kada je to potrebno, osiguravajući da struja ne teče natrag u mrežu. Pravilnim ožičenjem i uzemljenjem također stvaramo preventivu od povratne struje. Ožičenje između generatora, prekidača prijenosa i električnog sustava treba ispravno instalirati, slijedeći električne propise. Osim toga, generator bi trebao biti pravilno uzemljen kako bi se smanjio rizik od električnog udara i osigurao siguran put za struje kvara.

4.6. ZAŠTITA OD PRENAPONA I PODNAPONA

Visoki napon može biti uzrokovan atmosferskim i sklopnim prenaponom ali i pogonskim povišenjem samog generatora. Generatori koji su spojeni direktno na mrežu ugroženi su prenaponom. U tom slučaju generatore štiti odvodnicima prenapona. Kada generator ispadne iz pogona pri punom opterećenju nastaje pojava prenapona te njegov iznos može dosegnuti i 140% vrijednosti nazivnog napona. Trajanje prenaponskog napona može oscilirati od nekoliko perioda nazivnog napona do nekoliko sati. Generator se može štiti kombinacijom naponskog i vremenskog releja. Relej je ugrađen tako da mu otpor u što manjoj mjeri ovisi o frekvenciji. Podnapon generatora mogu uzrokovati preniska brzina pogonskog stroja, prevelik otpor uzbudnog kruga, kvar na ispravljačkim diodama, kratki spoj ili zemni spoj na namotima statora ili rotora. Podnapon je štetan za generator i sva trošila koja su spojena na njegov izvor napajanja. Štiti se pomoću pod naponskog releja koji mjeri napon i u slučaju pre velikog pada napona se aktivira.

4.7. ZAŠTITA BRZOM RAZBUDOM

Pri brzom iskapčanju koji je u kratkom spoju, zemnom spoju ili u među zavojnom spoju nedovoljno je zaštititi generatorske namotaje i generatorsku jezgru. Treba se omogućiti da se ugasi uzbuda. U suprotnom slučaju visoka struja koju prati i visok napon prošla bi kroz generator i izazvala kvar i velika oštećenja. Zaštita ove anomalije izvodi se spojem djelatnih otpora u odgovarajućem strujnom krugu uzbude. Djelatni otpor ima zadaću da poništava pribavljenu energiju polja te na taj način dostatno smanjuju struju uzbude.

5. UPRAVLJANJE GENERATORA

5.1. AUTOMATIZACIJA

Automatizacija na brodu obično se odnosi na implementaciju tehnologija i sustava automatizacije na pločici ili elektroničkoj ploči. To može uključivati integraciju komponenti i softvera koji omogućuju automatiziranu kontrolu i donošenje odluka unutar određenog uređaja ili sustava.

Kod tehničkog nadzora pomorskih brodova uz oznaku stroja dodaje se i kategorija automatizacije koje mogu biti [1]:

- AUT 1
- AUT 2
- AUT 3

AUT 1– odnosi se na brodove na kojima je predviđen rad bez stalne službe na glavnom mjestu upravljanja i strojarnice bez nadzora.

AUT 2– odnosi se na brodove kod kojih je predviđen rad sa stalnom službom na glavnom mjestu upravljanja ali još uvijek sa strojarnicom bez nadzora.

AUT 3– odnosi se na brodove koji ispunjavaju uvijete AUT 1 ali sa snagom porivnog motora manjim od 1500kW.

Kod zahtjevnijih brodova kao što su brodovi na nuklearni pogon klasa automatizacije se dogovara i mora biti u skladu sa svim odredbama registra.

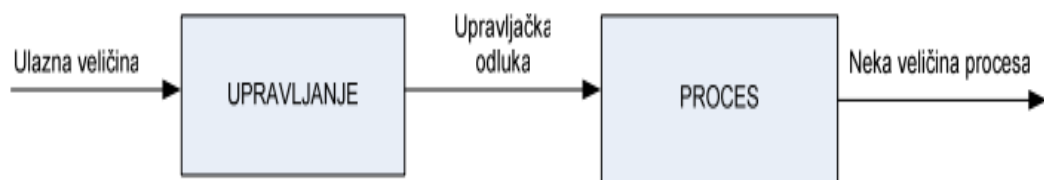
Osnovni zadaci koje svi sustavi i uređaji automatike moraju izvršavati na brodu su [1]:

- Automatsko startanje motora i prekidanje rada
- Nadzor rada
- Signalizacija i alarmni sustav
- Regulacija
- Upravljanje
- Zaštita

Sustavi za startanje i prekidanje rada generatora moraju izvršavati radnje potrebne za pokretanje, regulaciju vrtnje, promjenu smjera i na kraju zaustavljanje rada motora. Sustavi za nadzor rada neprestano prate veličine koje osiguravaju rad motora ili pogonskog stroja te daju informacije o trenutnom stanju sustava. sustavi signalizacije i alarma zaduženi su za praćenje veličina koje su u radu i obavještavaju nas u slučaju prekida njihovog rada. Npr, zvučna i vizualna signalizacija u slučaju kvara. Sustavi regulacije zaduženi su za održavanje strojeva kao što je regulacije razine ulja u nekom stroju. Sustav upravljanja upravljaju motorima, strojevima i uređajima u procesima u kojima ne sudjeluje čovjek. Sustavi zaštite omogućuju zaštitu pojedinih dijelova procesa od njihovog oštećenja ili u slučaju kvara.

5.2. OPĆENITO O UPRAVLJANJU

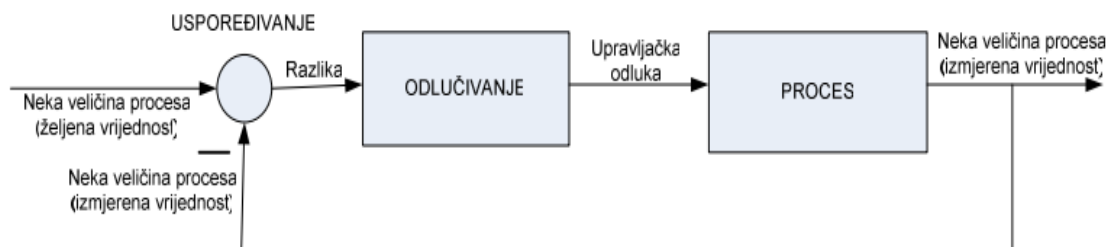
Upravljanje je proces u kojem se djeluje na ulazne parametre kako bi se zadovoljili naši željeni parametri na izlazu u nekom sustavu kojim se upravlja. Sustav upravljanja se izvodi otvorenim krugom, bez ikakvih povratnih referentnih veličina već je ulazna veličina unaprijed određena tako da mijenja izlaznu veličinu. Pojam upravljanje sadrži velik opseg radnji, od onih najjednostavnijih kao što je automatsko svjetlo s osjetnikom pokreta do onih najsloženijih u kojem su korišteni mnogi prekidači, releji, sklopnici i slični uređaji. Stoga je svaki strujni krug podložan svom sustavu upravljanja i regulacije. Za primjer složenog sustava upravljanja možemo uzeti sustav upravljanja motorom odnosno njegovim startanjem, promjenom brzine vrtnje, zaustavljanjem i njegovom zaštitom.



Slika 10: Otvoreni krug

Izvor: predavanja doc.dr.sc. Miroslava Bistovića

Automatska regulacija je održavanje nekog procesa u traženom stanju. Taj proces se može mijenjati neovisno o unutarnjim i vanjskim poremećajima. U odnosu na upravljanje regulacija koristi povratnu vezu koja pomoću razlike između ulazne i izlazne veličine omogućava pravilno usmjeravanje procesa. Proces možemo usmjeriti djelovanjem na tok energije ili tvari.

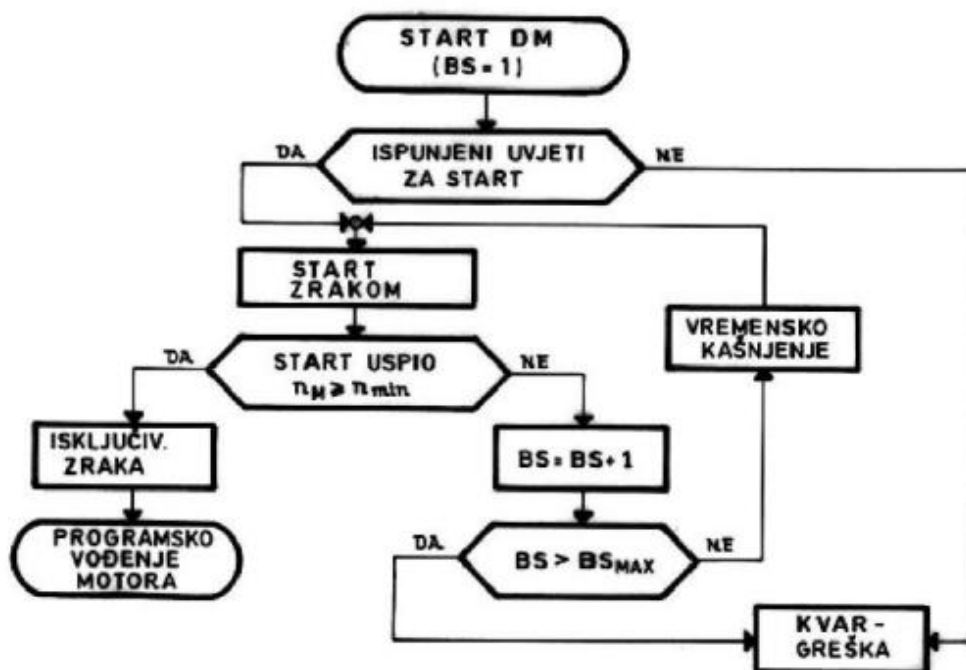


Slika 11: Petlja regulacije

U cijelom procesu automatske regulacije sudjeluju uređaji za mjerenje, odlučivanje, uspoređivanje i izvršenje konačne odluke. U regulaciji može sudjelovati i čovjek koji može obavljati sve navedene radnje umjesto uređaja no tada se regulacija više ne smatra automatskom. Osnovni zahtjev automatske regulacije je zadovoljiti odredbe određenog sustava.

5.3. UPRAVLJANJE DIZEL GENERATORA

Pogonski stroj odnosi se na primarne strojeve odgovorne za stvaranje potiska potrebnog za proguravanje plovila kroz vodu. Postoje različite vrste pogonskih strojeva koji se koriste na brodovima, ovisno o veličini, namjeni i pogonskom sustavu plovila. Postupak kojim se dovodi pogonski stroj u režim rada koristi startni zrak. Vrlo važno za istaknuti je da tlak zraka motora uvijek mora biti veći od donje definirane vrijednosti.



Slika 12: Blok dijagram toka upućivanja motora

Izvor: Tomas V., Šegulja I., Valčić M., 2010 Osnove automatizacije, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka

Značenje skraćenica na dijagramu [1]:

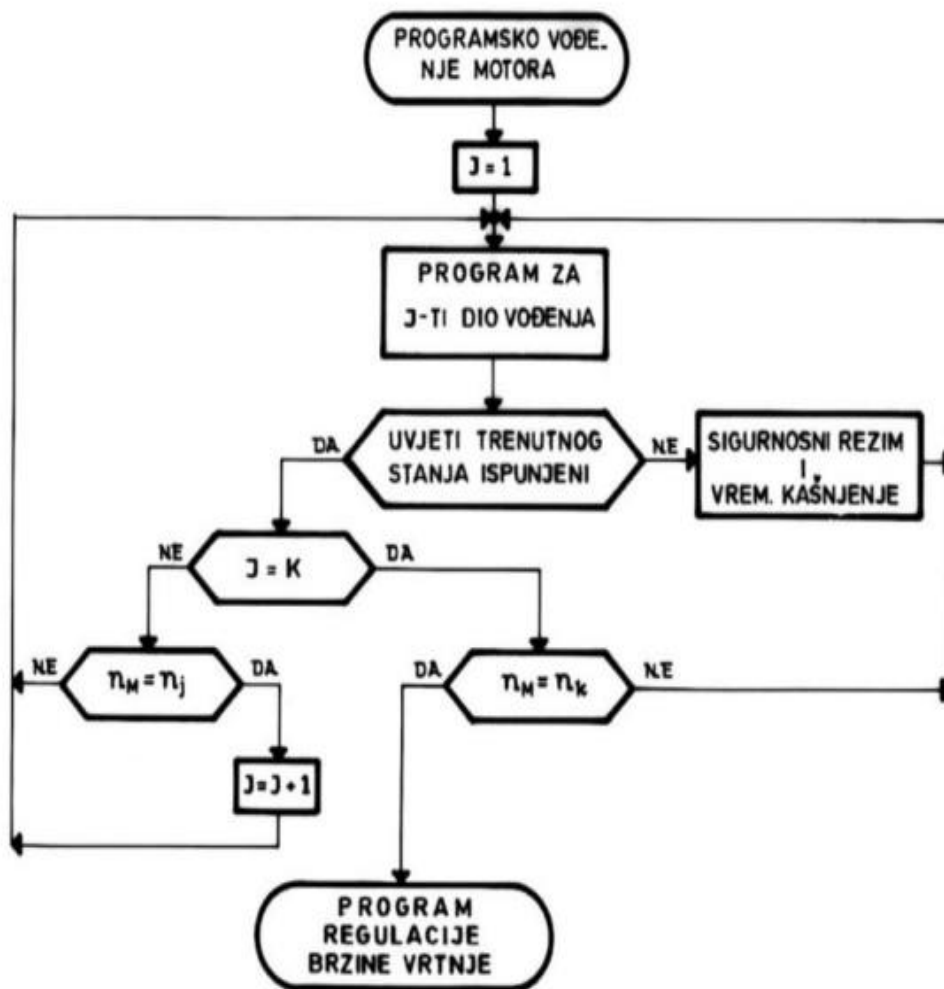
BS - Broj pokušaja upućivanja

n_M - stvarni broj okretaja motora

n_{min} - minimalni broj okretaja dovoljan za uspješno upućivanje

BS_{MAX} - maksimalan broj okretaja dovoljan za uspješno upućivanje

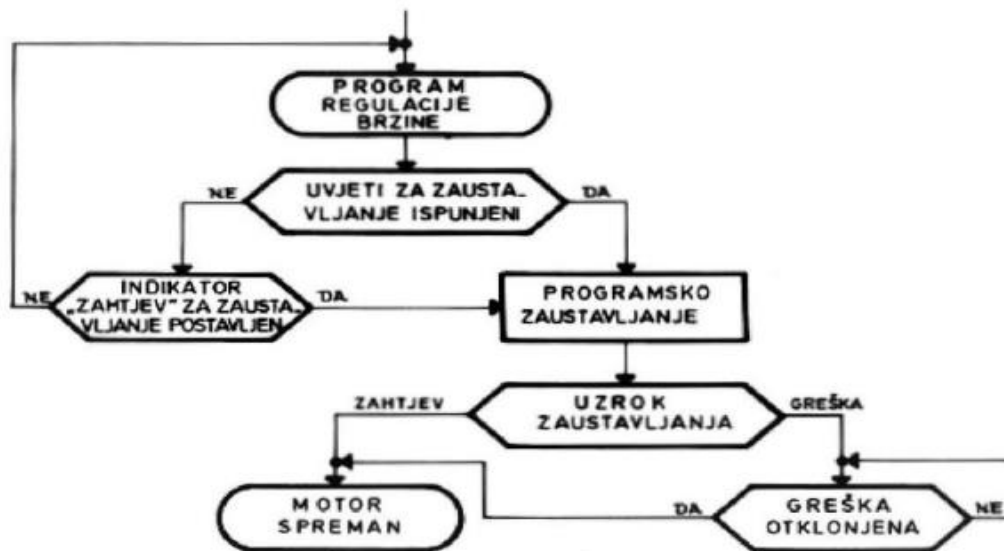
Kada je proces pokretanja pogonskog stroja u potpunosti odrađen pristupa se procesu automatske regulacije brzine vrtnje pogonskog stroja. U ovom procesu frekvencija se dovodi na 50Hz.



Slika 13: blok dijagram toka programskog vođenja motora

Izvor: Izvor: Tomas V., Šegulja I., Valčić M., 2010 Osnove automatizacije, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka

Automatskim regulatorom reguliramo brzinu vrtnje pogonskog stroja. Dok se vrši regulacija brzine vrtnje važno je da se prate veličine koje bi naštetile sigurnom radu pogonskog stroja, a ujedno se i utvrđuju uvjeti za koji su bitni za zaustavljanje pogonskog stroja. Ako se ustanovi da i jedan uvjet nije u zadanoj vrijednosti prelazi se u proces zaustavljanja pogonskog stroja generatora. Za proces zaustavljanja postoji algoritam koji je unaprijed određen i koristi se za zaštitu od mogućih neželjenih implikacija.



Slika 14: Blok dijagram procesa zaustavljanja motora

Izvor: Tomas V., Šegulja I., Valčić M., 2010 Osnove automatizacije, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka

Kod upravljanja drugih dijelova pogonskog stroja kao što su pumpe, ventili i kompresori upotrebljavaju se programi za startanje, dijagnostiku, informacije o kvaru, nadziranje i drugo.

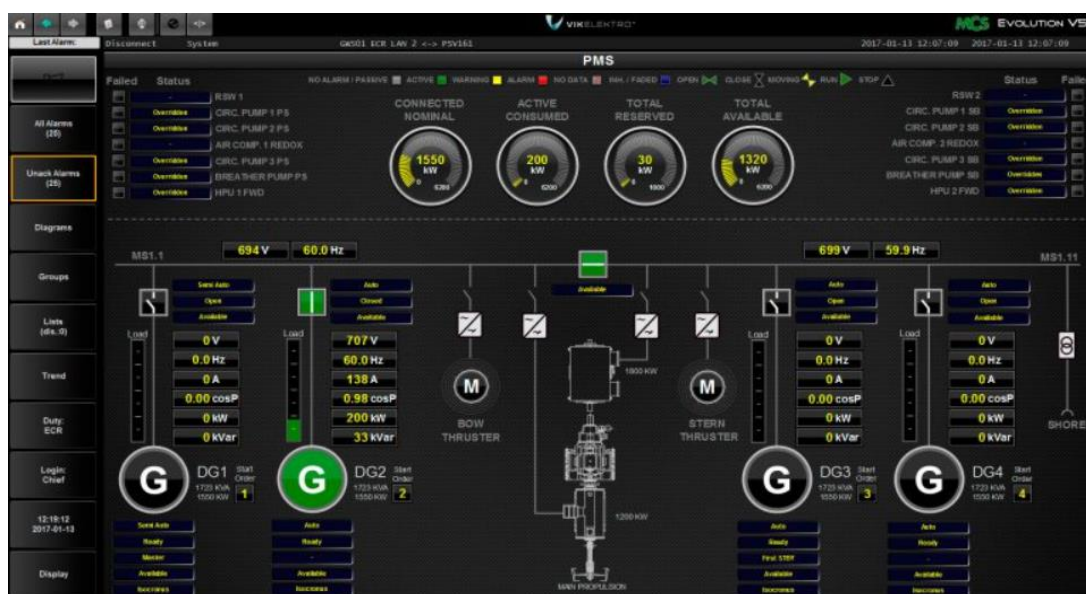
5.4. SUSTAV UPRAVLJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Sustav upravljanja električnom energijom (Power Management System- PMS) je sustav koji obuhvaća više radnji i funkcija sve u cilju osiguravanja efikasnog napajanja na brodu i izvršavanje svih funkcija pri plovidbi. Broj generatora, ukupna snaga koja je instalirana i sastavljena mreža ovise o karakteristikama PMS sustava.

Specifične funkcije i značajke sustava upravljanja napajanjem mogu varirati ovisno o primjeni i složenosti sustava. PMS odrađuje uključivanje i isključivanje generatora ovisno o trenutnom opterećenju mreže i time sprječava ispad sustava. U isto vrijeme PMS nastoji držati generatore

u adekvatnom području rada čime se štedi na potrošnji goriva ali i smanjuje ispušt štetnih plinova. PMS nadzire proizvodnju električne energije iz različitih izvora, kao što su motori, generatori, solarni paneli ili gorive ćelije. Prati parametre proizvodnje energije i u skladu s tim kontrolira izvore energije.

U mnogim slučajevima PMS uključuje uređaje za pohranu energije poput baterija ili kondenzatora kako bi osigurao stabilno napajanje tijekom najveće potražnje ili u slučaju kvara izvora energije. Upravlja punjenjem i pražnjenjem ovih uređaja za pohranu. Sustav je zadužen i za distribuciju energije različitim podsustavima i komponentama prema njihovim zahtjevima. Osigurava da svaki sustav prima odgovarajuću količinu energije i time sprječava preopterećenje ili pad napona. Jedan od primarnih ciljeva PMS-a je optimizirati potrošnju energije i poboljšati ukupnu učinkovitost sustava. Može koristiti tehnike poput korekcije faktora snage, regulacije napona ili inteligentnih algoritama usmjeravanja energije kako bi smanjio rasipanje energije i poboljšao performanse. Kod paralelnog rada generatora PMS sustav je zadužen za pravilnu raspodjelu snage, analizu frekvencije i napona te provedbu upravljačkih krugova i zaštitnih funkcija generatora.



Slika 15: Power management system

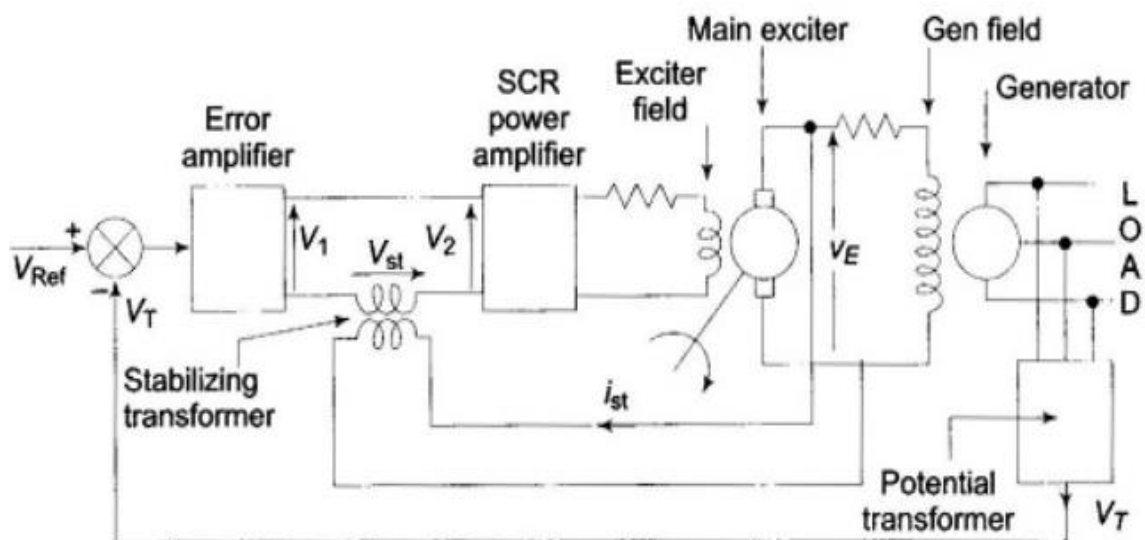
Izvor: <https://mcs.no/power-management-system/>

PMS često uključuje korisničko sučelje ili zaslon koji operaterima ili članovima posade omogućuje praćenje statusa napajanja, podešavanje postavki i primanje upozorenja ili

obavijesti o problemima povezanim s napajanjem. Sve u svemu, sustav upravljanja energijom na brodu pruža centralizirani upravljački mehanizam kako bi se osigurala pouzdana, učinkovita i sigurna raspodjela snage unutar plovila. Specifično projektiranje i provedba mogu se značajno razlikovati ovisno o primjeni i specifičnim zahtjevima dotičnog sustava.

5.5. AUTOMATSKI REGULATOR NAPONA

Automatski regulator napona (Automatic Voltage Regulator-AVR) je elektronički uređaj čvrstog stanja za automatsko održavanje napona izlaznog terminala generatora na zadanoj vrijednosti. Pokušat će to učiniti kako se opterećenje generatora ili radna temperatura mijenjaju. AVR je dio sustava uzbude alternatora. Kod generatora AVR se može nalaziti na jednoj od slijedećih tri lokacije. Može se ugraditi u glavnoj upravljačkoj kutiji generatora, u priključnoj kutiji alternatora ili se može nalaziti ispod stražnjeg poklopca alternatora ali samo kod vrlo malih prijenosnih jedinica. AVR mjeri napon na izlazu generatora te napon koji je fluktuirao u opterećenom sustavu pretvara u konstantni napon. Kontrolira izlaz tako što mjeri napon iz terminala generatora i uspoređuje ga sa stabilnom referencom. Signal pogreške zatim se koristi za podešavanje struje polja tako što povećava ili smanjuje protok struje na uzbudni stator, što će zauzvrat dovesti do nižeg ili višeg napona na glavnim stezaljkama statora.



Slika 16: Shematski prikaz AVR-a

Izvor: <https://www.eeeguide.com/wp-content/uploads/2016/12/Automatic-Voltage-Control-006.jpg>

AVR na brodu ima i funkciju da održava pad napona kada generatori rade u paralelnom režimu. U paralelnom radu može doći do električnog udara kod kojeg nastaje pad napona na izlazu generatora. Posljedica ove pojave je rast opterećenja jednog generatora. Upotrebom AVR-a ovi nepovoljni učinci dovode se na minimalnu razinu. Automatski regulator napona održava izlazni napon jer identificira pad napona te tako štiti generator od nenadanog povećanja opterećenja ili električnog udara. Za samo uzbuđenje automatskog regulatora napona neophodan je zaostali magnetizam dovoljan za stvaranje elektromagnetske sile kada se armatura okreće ispravnom brzinom. Strujni krug polja šanta mora biti kontinuiran i tako povezan da protok struje uzrokuje magnetski tok koji jača izvorni zaostali magnetski tok. Otpor strujnog kruga polja šanta mora biti manji od kritičnog otpora koji se određuje iz karakteristika otvorenog kruga kada generator radi određenom brzinom.

Za automatski regulator potrebno je koristiti zaštitu od kratkog spoja i zaštitu od prenapona i pod napona. Kod pojave kratkog spoja prekidač koji je spojen na prednjoj strani prekida dovod struje do AVR-a. U slučaju da naponski zaštitni krug detektira viši ili manji napon na izlazu generatora automatski će isključiti izlazno napajanje. Ako je AVR na generatoru u kvaru, generator će izgubiti pobudu. Gubitak pobude uzrokovat će nagli pad napona na generatoru, a taj gubitak napona uzrokovati će isključivanje generatora na pod naponskom kvaru. Ako generator nema pod naponsku zaštitu, generator može nastaviti raditi, što bi moglo uzrokovati ozbiljna oštećenja cjelokupne opreme koju generator napaja.

5.6. UPRAVLJAČKA PLOČA DIZEL GENERATORA

Upravljačka ploča generatora je zaslon koji prikazuje različite detalje i parametre u vezi generatora dok je generator u režimu rada. Upravljačke ploče imaju zaslone na kojim operateri očitavaju funkcije generatora. Upravljačka ploča ima razne mjerače i senzore koje nam prikazuju razne parametre, a najvažniji su struja, napon i frekvencija generatora. Mjerači i senzori obično su smješteni u metalnom vodonepropusnom kućištu i montirani na generator. Također imaju obloge otporne na vibracije koje pomažu zaštititi upravljačku ploču od udaraca koje generator može uzrokovati tijekom rada.

Mnoge upravljačke ploče generatora također imaju gumbе i prekidače koji pomažu da generator nesmetano radi. Osim prekidača za uključivanje i isključivanje, upravljačke ploče generatora imaju unaprijed postavljene načine rada koji generator upućuju na izvođenje specifičnih konfiguracija s naglaskom na praćenje određenih parametara.



Slika 17: Primjer upravljačke ploče dizel generatora

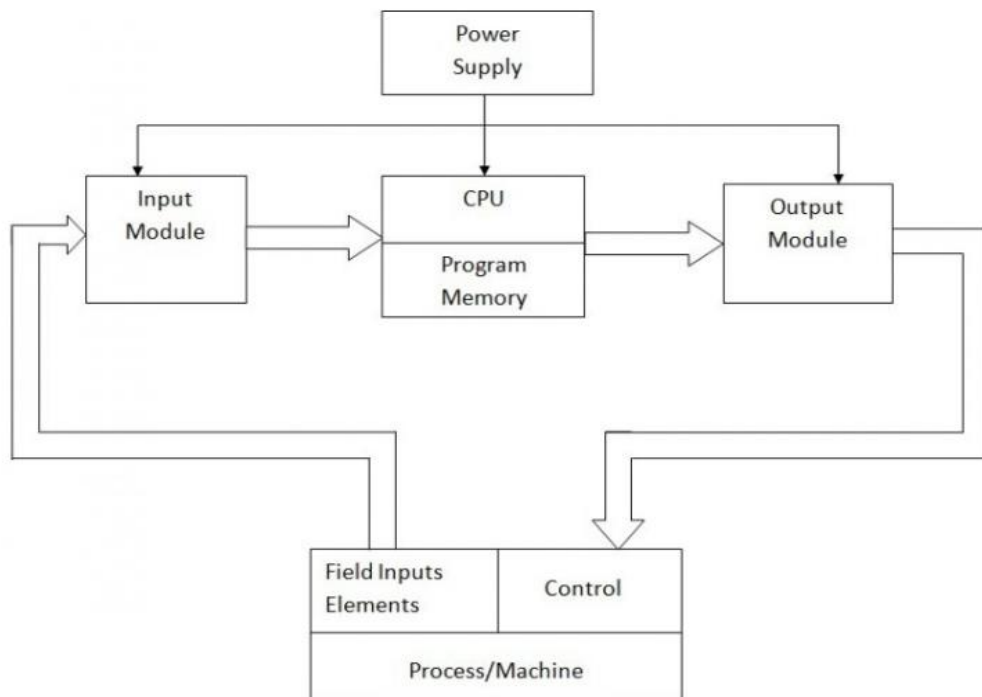
Izvor: <https://ade-power.com/generators/control-panels/cummins/powerstart-ps0600>

Upravljačke ploče generatora sadrže mikroprocesor koji može obrađivati i manipulirati ulaznim sensorima. Sensori svojim izračunima mogu pomoći u pružanju bitnih povratnih informacija upravljačkoj ploči. Primjer povratnih informacija bila bi mjerač temperature. Kada motor generatora počne dostizati temperaturu koja nije u zadanim granicama, generator će se automatski isključiti kako bi se spriječilo oštećenje. Upravljačke ploče generatora obično su izvedene tako da su spojene zajedno s prekidačem za automatski prijenos (Automatic Transfer Switch- ATS). ATS će zatražiti generator da se pokrene i u slučaju gubitka napajanja zbog nestanka struje.

5.7. PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)

Programabilni logički kontroler (PLC) specijalizirano je digitalno računalo koje se obično koristi u sustavima industrijske automatizacije za kontrolu i nadzor strojeva i procesa. PLC-ovi su dizajnirani da izdrže teška industrijska okruženja i koriste se u raznim industrijama kao što je proizvodnja energije. Primarna funkcija PLC-a je čitanje ulaznih vrijednosti iz različitih senzora ili uređaja, izvršavanje upravljačkog programa na temelju tih vrijednosti, a zatim kontrola izlaznih veličina za izvođenje određenih radnji ili operacija. Ulazni moduli primaju signale sa senzora, prekidača ili drugih uređaja, dok izlazni moduli upravljaju motorima, ventilima ili drugim izlaznim uređajima. Ti moduli pružaju sredstva za interakciju

PLC-a s vanjskim okruženjem. Procesor je glavni dio PLC-a. Izvršava upravljački program pohranjen u svojoj memoriji i koordinira ulazne i izlazne operacije. Procesor prima ulazne podatke, obrađuje ih na temelju programirane logike i u skladu s tim generira izlazne signale.



Slika 18: Dijagram programibilnog logičkog kontrolera

Izvor: <https://electengmaterials.com/plc-programmable-logic-controllers/>

Na slici je prikazan dijagram i jednostavan prikaz ciklusa rada PLC-a te glavi dijelovi samog uređaja. To su redom procesor (CPU), napajanje (power supply), ulazni i izlazni moduli (input, output), programska memorija (program memory).

PLC-ovi imaju dvije vrste memorije za pohranu upravljačkog programa, podataka i konfiguracijskih postavki. To uključuje memoriju samo za čitanje (Read Only Memory-ROM) koja pohranjuje operativni sustav i memoriju s izravnim pristupom (Random Access Memory-RAM) za pohranu podataka tijekom izvršavanja programa. PLC-ovi se obično programiraju pomoću specijaliziranih programskih jezika. Najčešći programski jezici za PLC-ove su logika ljestava, strukturirani tekst i drugi. Navedeni programski jezici omogućuju korisnicima da definiraju željenu kontrolnu logiku i ponašanje sustava.

PLC-ovi često imaju ugrađene komunikacijske priključke ili module za povezivanje s drugim uređajima ili sustavima. Ti priključci omogućuju razmjenu podataka sa sustavima

nadzorne kontrole i prikupljanja podataka, omogućujući daljinski nadzor te kontrolu i razmjenu podataka. PLC-ovi obično nude dijagnostičke mogućnosti za praćenje stanja sustava, otkrivanje grešaka i pružanje informacija o otklanjanju poteškoća. Ove informacije uvelike olakšavaju održavanje sustava i sprječavanje nastanka kvara i eliminiranje mogućeg uzroka kvara. Za zaštitu PLC-a koriste se ulazno-izlazni moduli, sigurnosni releji, te se oni moraju instalirati u skladu sa sigurnosnim standardima. PLC-ovi pružaju fleksibilno i pouzdano kontrolno rješenje za automatizaciju industrijskih procesa. Nude mogućnost jednostavnog reprogramiranja i učinkovito projektiranje upravljačkog sustava. Ovi kontroleri značajno su doprinijeli poboljšanju produktivnosti, učinkovitosti i sigurnosti u različitim industrijama.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu istaknuta je ključna ulogu primjene dizel generatora kako u brodogradnji tako i u ostalim industrijama. Dizelski generatori široko se koriste za pružanje pouzdane i učinkovite snage tijekom hitnih, udaljenih lokacija i kao rezervni sustavi. Naglašena je važnost učinkovitih upravljačkih mehanizama za optimizaciju performansi i operacija dizelskih generatora. Primjenom naprednih upravljačkih sustava operatori mogu pratiti i regulirati ključne parametre kao što su potražnja za opterećenjem, potrošnja goriva i emisije, osiguravajući optimalan rad generatora i smanjujući ukupne troškove održavanja. Detaljno su prezentirani sustavi zaštite dizel generatora. Zaštita ovih strojeva od potencijalnih rizika, uključujući preopterećenja, kratke spojeve, zemne spojeve, ključna je u sprečavanju oštećenja opreme, operativnih poremećaja, pa čak i katastrofalnih kvarova.

U radu je prikazana kontrolna ploča dizel generatora kao važna komponenta u praćenju bitnih informacija generatora u brodskoj mreži. Opisan je rad PLC-a, njegov princip funkcioniranja, dijagram i implementacija. Pojavom PLC-a upravljanje dizel generatora a isto tako i ostalih brodskih uređaja i sustava postalo je mnogo efikasnije.

Sveukupno, ovaj rad prikazao je značaj primjene sveobuhvatnih strategija upravljanja i zaštite dizel generatora. Provedbom ovih mjera operateri mogu povećati učinkovitost, sigurnost i pouzdanost dizelskih generatora, što u konačnici doprinosi nesmetanom radu, neprekidnom napajanju i poboljšanoj produktivnosti u eksploataciji broda i ostalih plovila.

LITERATURA

- [1] Tomas V., Šegulja I., Valčić M., 2010 Osnove automatizacije, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka
- [2] Vučetić D., 2011, Brodski električni strojevi i sustavi, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka
- [3] Cuculić, A. 2020, Električni poriv broda, Autorizirani materijali s predavanja i vježbi, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, Hrvatska
- [4] Cuculić, A. : Brodske električni sustavi, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 2019
- [5] Generator Protection - Types of Faults & Protection Devices (electricaltechnology.org)
- [6] BHE_08_Rad_08.pdf (bhee.ba)
- [7] <https://electrical-engineering-portal.com/calculating-the-short-circuit-current-synchronous-generator>
- [8] Shipboard Electrical Power Systems | Mukund R. Patel | Taylor & Francis (taylorfrancis.com)
- [9] <https://www.dbdieselgenerator.com>
- [10] Udzbenik_AUTOMATSKA REGULACIJA_JPetric (fsb.hr)
- [11] POWER MANAGEMENT SYSTEM - Marine Control Services (mcs.no)
- [12] What is a generator AVR or Automatic Voltage Regulator? What does an AVR do? How does it work? – Welland Power
- [13] <https://marineinbox.com/marine-exams/automatic-voltage-regulator/>
- [14] https://www.fgwilson.com/en_GB/products/controlpanels.html
- [15] <https://controlreal.com/en/programmable-logic-controllers-plc/>

KAZALO KRATICA

V – voltage

A – ampere

kA – kiloampere

Hz – hertz

kVA – kiloVolt Ampere

MVA– Megavolt Ampere

kW – kilo Watt

kVAr – Kilovolt Ampere reactive

AVR – Automatic Voltage Regulator

PMS – Power Managment System

PLC – Programmable Logic Controller

POPIS SLIKA

Slika 1: Shematski prikaz elektroenergetskog sustava broda	3
Slika 2: Shema spoja za sinkronizaciju generatora	6
Slika 3: Brodski dizel generator	7
Slika 4: Specifična potrošnja goriva dizelskog motora srednje brzine	7
Slika 5: Pogonski dijagram dizel generatora	8
Slika 6: Struja kratkog spoja	10
Slika 7: Najčešće vrijednosti za sinkroni generator	11
Slika 8: Primjer zaštite generatora	12
Slika 9: Neuzemljeni sustav za zemnim spojem između dvije faze	13
Slika 10: Otvoreni krug	17
Slika 11: Petlja regulacije	17
Slika 12: Blok dijagram toka upućivanja motora	18
Slika 13: Blok dijagram toka programskog vođenja motora	19
Slika 14: Blok dijagram procesa zaustavljanja motora	20
Slika 15: Power management system.....	21
Slika 16: Shematski prikaz AVR-a	22
Slika 17: Primjer upravljačke ploče dizel generatora	24
Slika 18: Dijagram programabilnog logičkog kontrolera	25