

# Upravljanje i zaštita dizel generatora

---

Stanišić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:187:215744>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-08**



**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](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

**LUKA STANIŠIĆ**

**UPRAVLJANJE I ZAŠTITA DIZEL GENERATORA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**POMORSKU 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: Luka Stanišić

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 01120703173

RIJEKA, lipanj 2022.

Student/studentica: Luka Stanišić

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 01120703173

### 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 Bistrovića

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 povezo/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/studentica: Luka Stanišić

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 01120703173

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 radu detaljno su opisani postupci zaštite i upravljanja generatora. Istaknuti postupci i reakcije sustava generatora koji su potrebni kako bi se omogućio nesmetan rad generatora i zaštita generatora, osoblje i radnog prostora. Primjenom automatike za upravljanje dizel generatora i PMS sustava (sustav za upravljanje električnom energijom) dovelo je do značajne razine kvalitete i sigurnosti proizvodnje i distribucije električne energije.

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

## **SUMMARY**

This paper describes the procedures for the protection and control of generators. These procedures and reactions of the generator system, which are necessary to enable the smooth operation of the generator and the protection of the generator, personnel and workspace, are highlighted. The application of automation for the control of diesel generators and PMS systems (electricity management systems) has led to a significant level of quality and safety in the production and distribution of electricity.

**Keywords:** diesel generator, control, PMS, protection, electricity

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODU .....	3
3. DIZEL GENERATOR .....	5
3.1. O DIZEL GENERATORU OPĆENITO .....	5
3.2. GENERATOR.....	7
4. ZAŠTITA DIZEL GENERATORA .....	10
4.1. ZAŠTITA OD KRATKOG SPOJA .....	10
4.2. ZAŠTITA OD SPOJA S MASOM.....	12
4.3. ZAŠTITA OD MEĐUZAVOJNOG SPOJA .....	14
4.4. ZAŠTITA OD PREOPTEREĆENJA.....	15
4.5. ZAŠTITA OD POVRATNE SNAGE.....	17
4.6. ZAŠTITA OD PRENAPONA I PODNAPONA.....	17
4.7. ZAŠTITA BRZOM RAZBUDOM .....	18
5. UPRAVLJANJE DIZEL GENERATORA .....	19
5.1. ZAHTJEVI REGISTRA .....	19
5.2. OPĆENITO O UPRAVLJANJU.....	19
5.3. RAZINE UPRAVLJANJA .....	21
5.4. UPRAVLJANJE SUSTAVOM DIZEL GENERATORA.....	22
5.5. SUSTAV UPRAVLJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM.....	27
5.6. UPRAVLJANJE DIZEL GENERATORA U UNIC (Wärtsilä Unified Controls) SUSTAVU .....	29
5.7. PLC (programmable logic controller) .....	31
6. ZAKLJUČAK .....	34
LITERATURA .....	35
KAZALO KRATICA .....	36
POPIS SLIKA.....	37

## 1. UVOD

Električna energija bitna je stavka svakog broda za obavljanje glavnih njegovih funkcija. Najvažnije je imati stalnu i pouzdanu raspoloživost električne energije uz određene uvjete kao što su frekvencija i napon. Glavni stroj koji uz upravljačke i zaštitne elemente, omogućava stalni napon i frekvenciju je dizel generator. Na početku su se koristili istosmjerni generatori a zatim su ih zamijenili izmjenični generatori odnosno trofazni samouzbudni sinkroni generatori.

Brodski elektroenergetski sustav sastoji od već navedenih dizel generatora te još od niskonaponskih, visokonaponskih trošila, transformatora, pretvarača frekvencije, izmjenjivača i ispravljača. U sustavu se koristi trofazna izmjenična struja za visokonaponsku mrežu, a za niskonaponsku najčešće se koristi jednofazna izmjenična struja (prema registru visoki napon na brodu je svaki napon viši od 1000 V.)

Maksimalne vrijednosti napona dopuštene na brodu za izmjeničnu struju su 15 000 VAC, a za istosmjernu 1000 VDC, dok standardne vrijednosti koje se koriste su 380 i 440 VAC uz frekvencija 60 Hz. Kod velikih trošila(električna propulzija) koriste se naponi od 3300, 4400 i 11000 VAC. Visoki napon na brodu se koristi zbog smanjenja volumena električne opreme i mase, znatno jednostavnijeg postavljanja i priključivanja energetskih kabela. Kod korištenja tanjih kabela smanjuju se gubici u bakru. Najčešći napon jednofazne mreže korištene za jednofazne motore i rasvjetu je 115 V i 220 V.

Dimenzioniranje izvora električne energije za brod određuje se pomoću bilance snage električne energije. Snaga izvora koju je potrebno instalirati izračunava se i ovisi o više parametara brodskih pogonskih stanja (plovidba na otvorenom moru, manevriranje, ukrcaj ili iskrcaj tereta, sidrenje) i sl. Broj generatora mora biti čim manji da ne bi došlo do nepotrebnih financijskih troškova i zauzimanja dodatnog broskog prostora, a istovremeno dostatnih za ukupnu bilancu snage. U slučaju da se jedan generator isključi iz rada uslijed nekog kvara, ostali generatori moraju moći preuzeti rad tj. nadomjestiti njegovu snagu potrebnu za rad trošila bitnih za normalno funkcioniranje broda . Dio snage generatora mora biti dovoljna i za napajanje važnih brodskih trošila kao što su kormilarski i komunikacijski uređaji, mogućnost pokretanja najjačeg motora s najdužim vremenom pokretanja, a da se ne naruši nazivni napon i frekvencija.



Dakle, o dizel generatorima na brodu gotovo da sve ovisi, pa se može reći da su oni pokretač cijelog sustava broda kao jednih od najvažnijih, a ujedno i najskupljih brodskih uređaja. Zbog važnosti potrebno ih je zaštititi od mogućih kvarova i drugih eventualnih vanjskih utjecaja koji mogu bitno utjecati na njihovu pouzdanost i rad, a što može dovesti do poremećaja za cijeli elektroenergetski sustav napajanja.

Od velike važnosti je i razvijanje grane automatike dizel generatora u funkciji lakšeg i jednostavnijeg upravljanja. Osim lokalnog i daljinskog upravljanja, automatika omogućuje poluautomatsko i automatsko upravljanje.

## 2. IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODU

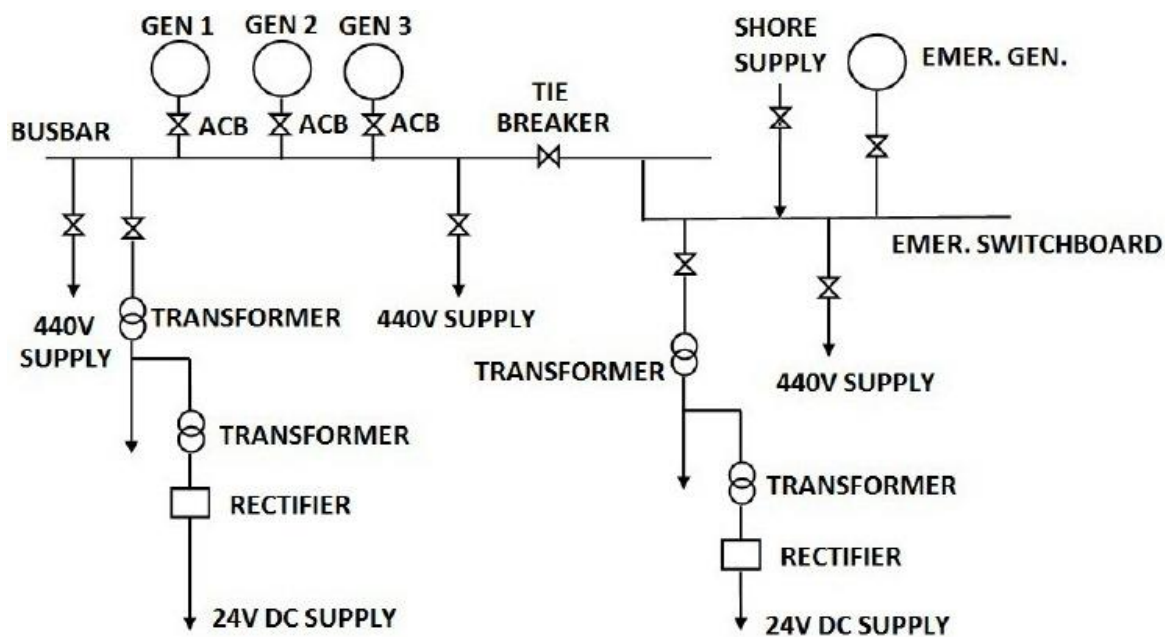
Na brodu postoje više izvora energije na brodu a to su [6]:

- Generatori
- Akumulatorske baterije
- Napajanje s kopna

Generatori se mogu podijeliti prema vrsti pogonskog stroja u što spadaju dizel generatori, turbo generatori, osovinski generatori (Shaft generator) i generator za nužnost. Najčešće se koristi dizel generator, a dok se generator za nužnost pali ako nastane blackout i mora se pokrenuti unutar 30 sekundi od trenutka nestanka napajanja. Turbo generator za pokretanje koristi paru od ispušnih plinova, a osovinski generator pokreće glavni pogonski stroj. Snaga brodskih generatora može biti od nekoliko stotina kVa pa sve do 19000 kVA za veće putničke brodove koji imaju ugrađenu dizel električnu propulziju. Konstrukcija generatora koji se koriste na brodu ne razlikuje se bitno od onih koji se nalaze na brodu osim nekih određenih specifičnih uvjeta glede mehaničkih zaštita i način na koji će biti smješteni na brodu.

Akumulatorske baterije su izvori s manjom količinom energije. Služe kao istosmjerni izvor električne energije koje napajaju sigurnosnu mrežu 24 V. Napajaju pokretače motora s unutrašnjim izgaranjem, služe za neprekidno napajanje elektroničkih uređaja za navigaciju, automatiku, pomoćnu rasvjetu, komunikacije i alarmni sustav. Najvažnija trošila koja ne smiju ostati bez napajanja električnom energijom moraju biti spojena na dva izvora napajanja. Prvi izvor je primarni spojen na glavnu razvodnu ploču i drugi koji se napaja s ploče za nužnost. Kada se akumulatorske baterije koriste kao privremen izvor električne energije za napajanje u slučaju nužnosti onda moraju minimalno osigurati 30 minuta napajanja komunikacije, signalizacije i pomoćne rasvjete.

Napajanje s kopna se vrši kada je brod u doku zbog gašenja glavnih generatora. Priključak s kopna nalazi se u neposrednoj blizini broda što omogućuje jednostavno fizičko priključivanje. Prije samog priključivanja moraju se obaviti točni propisani postupci. Samim napajanjem s kopna dolazi do smanjenja štetnih ispušnih plinova s broda.



**Slika 1: Prikaz elektroenergetskog sustava broda**

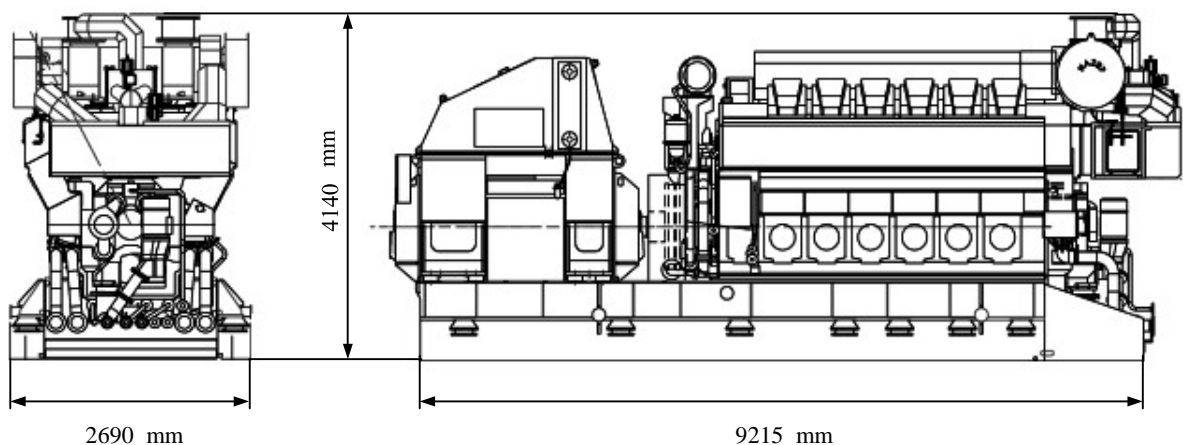
Izvor: <https://teckhmarine.blogspot.com/2018/06/marine-electrical-distribution.html>

### 3. DIZEL GENERATOR

#### 3.1. O DIZEL GENERATORU OPĆENITO

Sinkroni generator koji je pogonjen dizelskim motorom najčešći je izvor električne energije na brodu. Na svakom brodu se nalaze minimalno dva glavna dizel generatora i još jedan generator za nužnost. U drugim industrijskim postrojenjima kao glavni izvor električne energije se koristi klasična elektro opskrbna mreža dok je na brodu taj glavni izvor napajanja dizel generator. Generator radi na principu elektromagnetske indukcije koja je dobivena pretvorbom iz kinetičke energije koja se stvara od dizela. Dizelski motor je direktno spojen na generator bez reduktora i zbog toga se koriste brzohodni ili srednjohodni dizelski motori. Treba naglasiti da taj princip rada ima svoje **prednosti** a to su: trenutna spremnost za rad, kvalitetna regulacija brzine i visok stupanj korisnosti. **Nedostaci:** neravnomjeran moment (manji broj cilindara znači veći moment), pojavljivanje torzionih vibracija i njihanje energije. Zbog nastajanja elektromagnetskih oscilacija koje su uzrokovane spomenutim nedostacima one se umanjuju upotrebom generatora s prigušnim namotajem tj. prigušnim kavezom. Da bi dobili brzinu vrtnje dizel generatora koristimo za izračunavanje frekvenciju  $f$  (60 Hz) i broj pari polova generatora koje označavamo sa slovom  $p$ . Formula za sinkronu brzinu jednaka je [6]:

$$n_s = \frac{60 \times f}{p}$$



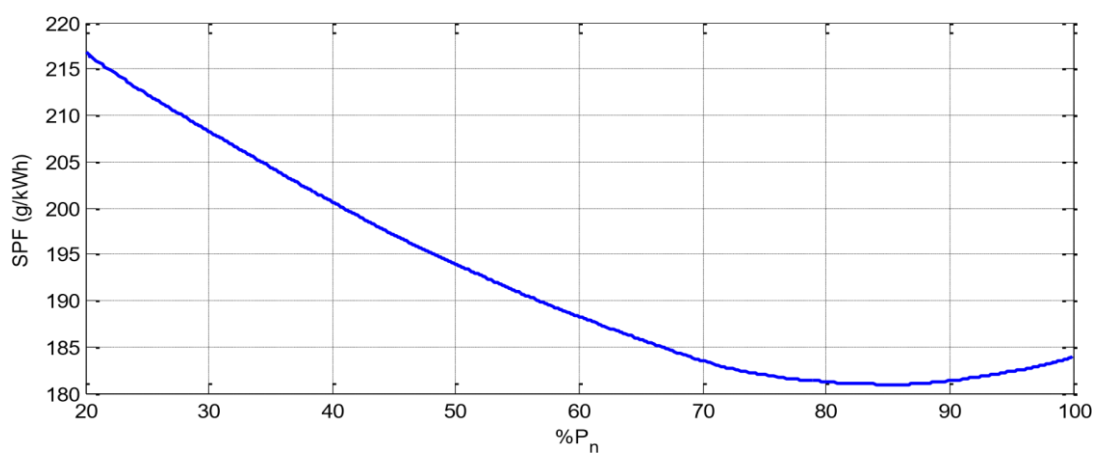
**Slika 2: Dizelski generator Wartsila 7L32**

*Izvor: Preuzeto s predavanja Doc. Dr. Sc. Aleksandar Cuculić*

Na slici su prikazane približne dimenzije i izgled broskog dizel generatora snage 3600 kVA

Vrlo važna stavka je postotak iskorištenosti energije iz goriva, a ona iznosi oko 40% kod novijih dizel motora što je vrlo zadovoljavajuće u usporedbi s nekim drugim toplinskim strojevima, ostatak energije se gubi u obliku topline i ispušnih plinova.

Potrošnja goriva uvelike ovisi o opterećenju dizelskog motora. To znači da će motor će motor imati najoptimalniju potrošnju pri 70-90% opterećenja, dok pri manjim opterećenjima znatno raste potrošnja goriva i izgaranje smjese nije potpuno što za posljedice ima stvaranje čađe, dušičnih ( $\text{NO}_x$ ) i sumpornih ( $\text{SO}_x$ ) spojeva. Kao posljedica nastajanja navedenih spojeva nastaju povišene emisije štetnih plinova zbog čega dolazi do veće potrebe za održavanjem i dodatnih troškova. Kako bi se postigla optimalna potrošnja na brodovima se najčešće ugrađuju više generatora manjih snaga, ali i ta opcija ima svoje nedostatke kao što su: veći troškovi instalacije i održavanja, manji generatori imaju manju korisnost i veći broj nezavisnih sustava za upravljanje. Na trgovačkim brodovima se najčešće koriste 2-4 generatora, a na brodovima pogonjeni električnom propulzijom 4-6.



**Slika 3: Krivulja specifične potrošnje goriva za dizelski motor (Wartsila 7L32)**

*Izvor: Preuzeto s predavanja Doc. Dr. Sc. Aleksandar Cuculić*

Korištenjem većeg broja dizel generatora s manjom snagom lakše se postiže optimizacija, a ona se određuje pri izradi/projektiranju bilance snage. Veći broj dizel generatora znači i više nezavisnih sustava što predstavlja dodatne troškove same instalacije i održavanje takvog sustava i mora se imati u vidu da manji dizel generatori imaju i manji

stupanj korisnosti. Danas na modernim trgovačkim brodovima se najčešće koriste između dva i četiri dizel generatora.

Kod projektiranja električnog broskog sustava najprije se mora uzeti u obzir veličina električnog sustava, odnosno iznos ukupne količine snage instaliranih trošila što direktno rezultira i utječe na vrijednost struje kratkog spoja. Na trgovačkim brodovima se koriste trofazni izmjenični napon koji iznosi 440V (60 Hz), ali s vremenom zbog izgradnje sve većih brodova i električni sustav postaje složeniji i veći i to je rezultiralo korištenjem visoki napon na trgovačkim brodovima. Najčešće i standardne vrijednosti visokog napona na brodovima: 3300 V, 6600 V i 11000 V dok frekvencija iznosi 60 Hz. Razlog zbog primjene visokog napona na brodovima je smanjenje volumena i mase električne opreme, kosite se kabeli manjeg volumena što predstavlja lakše postavljenje i gubici u bakru koji nastaju su puno manji i financijski je isplativije.

### **3.2. GENERATOR**

Generator je definiran kao stroj koji pretvara mehaničku energiju u električnu pod utjecajem elektromagnetske indukcije. Na trgovačkim brodovima se najčešće koriste beskontaktni sinkroni samouzbudni generatori koji su spojeni u spoj zvijezda. „Ovi se generatori sastoje od dva stroja priključena na istu osovinu: glavnog generatora klasične izvedbe (ali bez kliznih koluta) i invertiranog sinkronog generatora koji mu služi kao uzбудnik, odnosno osigurava struju uzbude. Kada pogonski stroj (dizel motor) vrti generator generirani napon sinkronog generatora, koji nastaje presijecanjem trofaznih vodiča statora magnetskim poljem rotora, ispravlja se pomoću diodnog mosta i dovodi na statorski uzbudni namot uzbudnika. Na vodičima trofaznog rotorskog namota uzbudnika, zbog presijecanja magnetskog polja statora (uzbude) inducira se, trofazni sustav napona koji se na samom rotoru ispravlja pomoću šest dioda ispravljača i najčešće kroz šuplju osovinu, ispod ležaja, dovodi na uzbudne namote glavnog generatora. Početni napon nakon pokretanja dobije se zahvaljujući remanentnom (zaostalom) magnetizmu u polovima rotora glavnog generatora i statora uzbudnika. Ako generator nakon pokretanja pomoćnog motora ne generira napon, + - ROTOR STATOR + - ROTACIJSKE DIODE GENERATOR UZBUDNIK 47 moguće je da je izgubio remanentni magnetizam pa ga treba uzbuditi kratkotrajnim spajanjem 4 serijski

spojene baterije (4x1,5V) na uzбудni (statorski) namot uzbuđnika dok se generator vrti i tako pokrenuti proces samo uzbude.“ (Vučetić, 2011.).

Kada dođe do promjene opterećenja na generatoru mijenja se i napon na stezaljkama, isto se događa i sa frekvencijom odnosno dolazi do mijenja se i brzine okretanja rotora, stoga je potrebno stalno regulirate te veličine. Nastali inducirani napon može se regulirati na sljedeće načine [1]:

- Promjenom broja vodiča u namotajima
- Promjenom jakosti (magnetskog polja) struje uzbude
- Promjenom brzinom kojom silnice magnetskog toka sijeku namotaje statora (broj okretaja generatorske osovine

Promjenom broja okretaja generatorske osovine značilo bi i promjenu frekvencije što bi značilo da se ne možemo koristiti ovom metodom jer želimo da nam frekvencija uvijek bude ista. Isto tako ne možemo se osloniti ni na promjenu broja vodiča u namotajima jer su oni uvijek isti odnosno konstantni. I jedina opcija nam ostaje da promjenom jakosti (magnetskog polja) struje da reguliramo inducirani napon. Znači da promjena napona uzbude utječe na struju uzbude kojom se regulira inducirani napon na generatoru.

Kako se na brodu koriste više od jednog generatora u nekim trenucima se mora napraviti sinkronizacija. To je radnja u kojoj se jedan generator priključuje odnosno ubacuje u mrežu međutim da bi se to postiglo moraju je prvo zadovoljiti četiri obavezna uvjeta bez kojih nije moguće izvršiti sinkronizaciju, a to su [6]:

- Isti redoslijed faza generatora i brodske mreže
- Jednak iznos napona generatora i brodske mreže
- Približno jednake frekvencije napona generatora i brodske mreže
- Istofaznost napona generatora i brodske mreže

Isti redoslijed faza generatora se utvrđuje prilikom samog ugrađivanja generatora i ona se vrši prilikom gradnje broda odnosno u brodogradilištu. Kod uvjeta za jednak iznos napona generatora i brodske mreže, na generatoru se postiže točan iznos induciraniog napona pomoću automatskog regulatora napona. Istofaznost i frekvencija se reguliraju gorivom preko regulatora broja okretaja. Što se tiče frekvencija one nikad ne smiju biti jednake, već

frekvencija generatora mora biti nešto veća u odnosu na brodsku mrežu jer u trenutku priključivanja generatora u mrežu on se mora vrtjeti malo brže kako bih mogao odmah na sebe preuzeti određeni dio opterećenja. Inače bi generator počeo raditi kao motor tako što bi povukao električnu snagu iz mreže, a to bi rezultiralo dodatnim opterećenjem za brodsku mrežu tj već priključene generatore.



## 4. ZAŠTITA DIZEL GENERATORA

Zaštita dizel generatora je vrlo značajna jer je on glavni izvor električne energije na brodu i o njemu ovise svi potrošači. Stoga kako ne bi došlo do kvarova, požara, oštećenja, prestanka napajanja važnih trošila i sl. koristimo mjere zaštite na dizel generatoru. Svrha zaštite je preventivno odnosno unaprijed zaštititi generator od najčešćih i najtežih mogućih kvarova. Kvar na dizel generatoru bi prouzrokovale i dodatne financijske poteškoće zbog dodatnog servisiranja i popravka. Sustav zaštite prati vrijednosti određenih parametara koji moraju biti unutar dozvoljene vrijednosti, ako vrijednosti određenih parametara prijeđu granicu automatski se aktiviraju i djeluju određene zaštite.

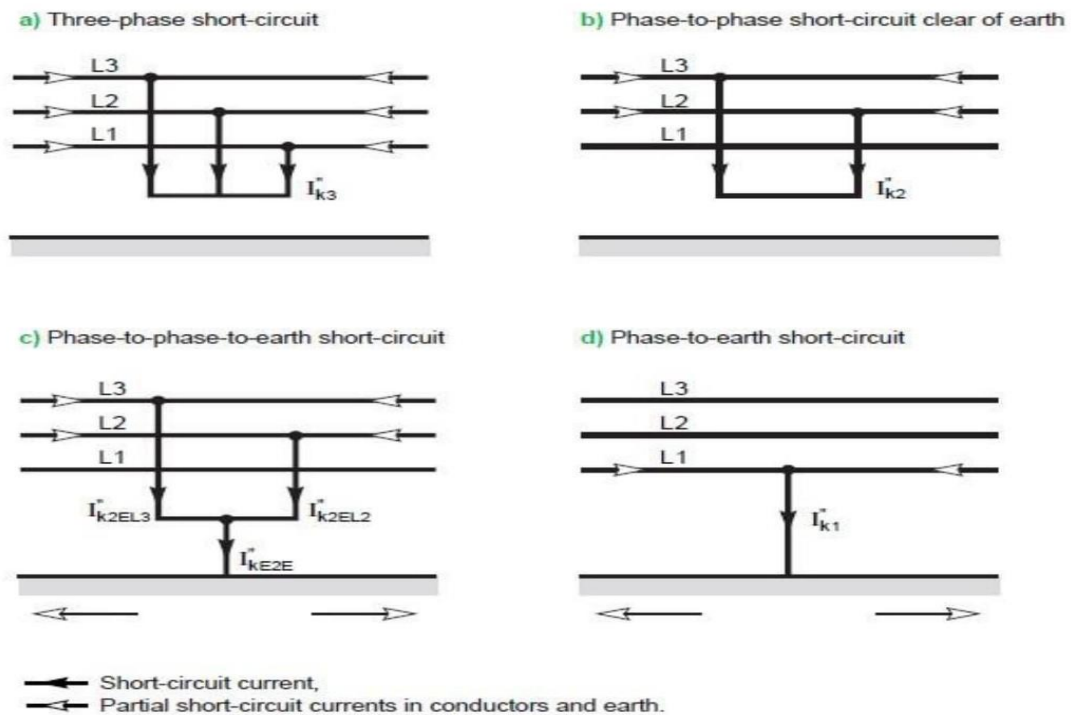
Zaštitu dizel generatora na brodovima možemo podijeliti na [6]:

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

### 4.1. ZAŠTITA OD KRATKOG SPOJA

U situaciji kada je nastao kratki spoj sustav mora u što kraćem vremenu isključiti generator iz pogona. Pod utjecajem kratkog spoja dolazi do dinamičkih sila koje utječu na puknuća, savijanja i lomove vodiča, isto tako i izolacija je podložna velikim oštećenjima. Nastajanje mehaničkih udara na statične i rotirajuće komponente, vibracije, a sve se to prenosi na pogonski stroj i mogući su kvarovi i na rotorskom uzbudnom krugu. Releji imaju značajnu ulogu u zaštiti od kratkog spoja, primjerice ugrađuje se elektromagnetski relej, a uz njega još i vremenski relej koji regulira vrijeme iskapčanja odnosno to je vremenski strujni neovisni relej.

Kako bi došlo do aktiviranja strujnog releja na generatoru mora nastati dovoljno velika struja kratkog spoja kako bi se relej mogao aktivirati. Stoga treba odrediti najveću dopuštenu struju koja smije proteći. Struju možemo izračunati pomoću zbroja svih serijskih impedancija između elektromotorne sile napona koja je inducirana na generatoru i priključen pogonski motor te struju kratkog spoja gdje se dogodio kvar.



**Slika 4: Vrste kratkih spojeva**

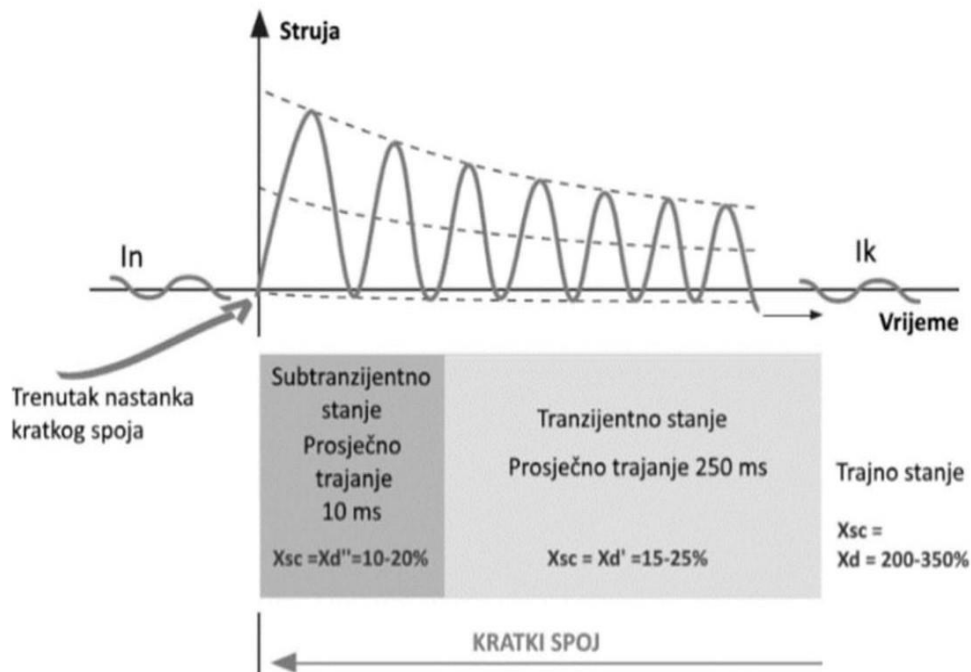
*Izvor: Transformer Short Circuit Current Calculation and Solutions*

Struja kratkog spoja jednaka je omjeru nazivnoj struji u generatoru i reaktanciji kratkog spoja.

$$[ I(k) = I_n / X_{sc} ]$$

Način na koji se detektira kratki spoj koji nastaje na generatoru je diferencijalna metoda koja se bazira na razlici potencijala odnosno napona između dvije točke.

Pomoću strujnih mjernih transformatora koji su smješteni na kraju generatorskih namotaja određujemo iznose struja između njih. Ako su razlike između struja u normalnom režimu rada generatora su jednake nuli to znači da su iznosi struja jednaki. Kad nastane kratki spoj iznosi između struja će se povećati i strujni zaštitni relej će aktivirati tek nakon što strujna razlika prijeđe određenu granicu. Najčešće se vrijednosti releja za aktivaciju postavljaju između 1,4 - 1,8 nazivne struje generatora.



**Slika 5: Struja kratkog spoja generatora**

*Izvor: Preuzeto s predavanja Doc. Dr. Sc. Aleksandar Cuculić*

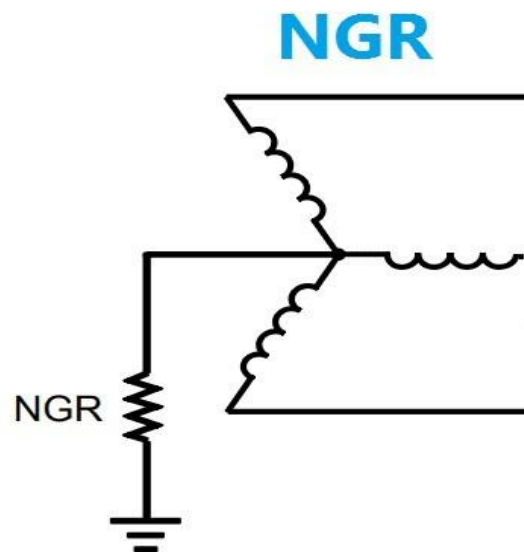
## 4.2.ZAŠTITA OD SPOJA S MASOM

Jedna od najvažnijih stvari kada govorimo o zaštiti spoja s masom je ta što je veća impedancija uzemljenja to će biti manja struja kvara. To otežava otkrivanje manjih (slabijih) kvarova s visoko otpornim uzemljenjem. Kada se strujni krug spoji s masom nastaje

jednopolni kratki spoj. U trenutku spajanja s masom preko-strujni magnetski relej izbacuje sklopku ujedno izbacuje i generator iz pogona. Na brodu postoje sustavi kada je zvjezdište:

- uzemljeno
  - preko otpornika
  - direktno
  - preko zavojnice
- neuzemljeno

Kod sustava s uzemljenim zvjezdištem preko otpornika znači da struja koja teče kroz otpornik ne smije prijeći 20A. Dio sustava u kojem je nastao spoj s masom ne može nastaviti s radom već se mora aktivirati zaštita na sljedeći način. Na otpornik mora biti spojen mjerni transformator koji nadzire vrijednost struje. Ako struja na otporniku prijeđe 20A aktivira se relej koji je spojen na otpornik koji izbacuje generator iz mreže. Ovakvi sustavi najčešće se koriste na brodovima s visokim naponom.

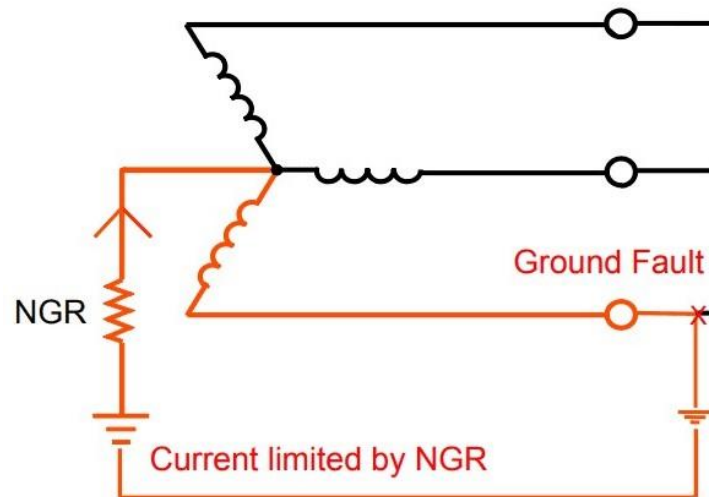


**Slika 6: Uzemljeno zvjezdište preko otpornika**

*Izvor: [www.electrical4u.net](http://www.electrical4u.net)*

Sustav s neuzemljenim zvjezdištem generatora primjenjuje se pomoću tri lampice koje su spojene na glavnoj rasklopnoj ploči. Svaka faza spojena je na jednu lampicu, a lampica

je spojena na masu. Sustav je ispravan dok gore sve tri lampice, a u trenutku kvara odnosno spoja s masom dolazi u trenutku kada neka lampica prestane svijetliti. U tom trenutku preostale dvije lampice svijetle jačim naponom za  $\sqrt{3}U_f$ . Kod ovakvog kvara ne dolazi do značajne strujne promjene i zato nije potrebno odmah izbaciti sklopku iz mreže.

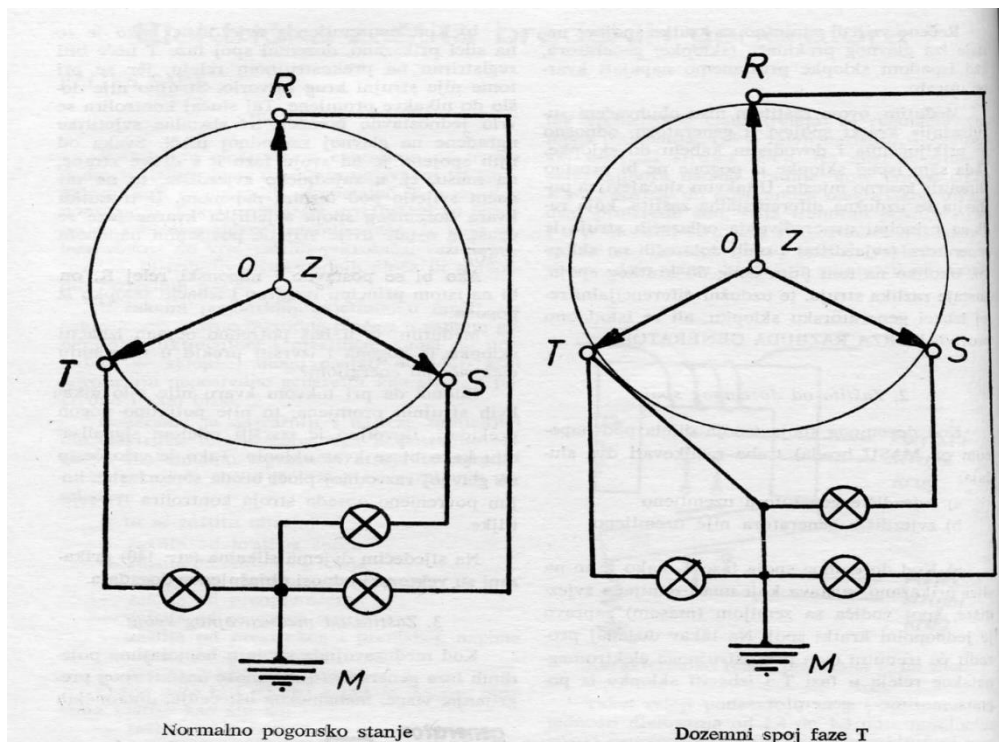


**Slika 7: Spoj s masom preko otpornika**

*Izvor: [www.electrical4u.net](http://www.electrical4u.net)*

### 4.3.ZAŠTITA OD MEĐUZAVOJNOG SPOJA

Spoj u među zavojnim namotajima može nastupiti zbog: mehaničkih opterećenja, pregrijavanja, vlage, dinamičkih sila pri kratkim spojevima i sl. među zavojna struja koja nastaje je prilično velikog iznosa i može oštetiti namotaje zbog oslobađanja velike količine topline što rezultira i uništenju stroja, a može prouzrokovati i požar. Isto tako među zavojna struja uzrokuje smanjenje magnetskog toka u sustavu. U fazi koja je u kvari nastaje pad napona radi smanjenja broja zavoja i jačine magnetskog toka što rezultira pomakom zvjezdišta generatora u odnosu na električno zvjezdište mreže. Vektorski zbroj napona više nije jednak nuli i zato se ugrađuje relej koji će detektirati taj problem.



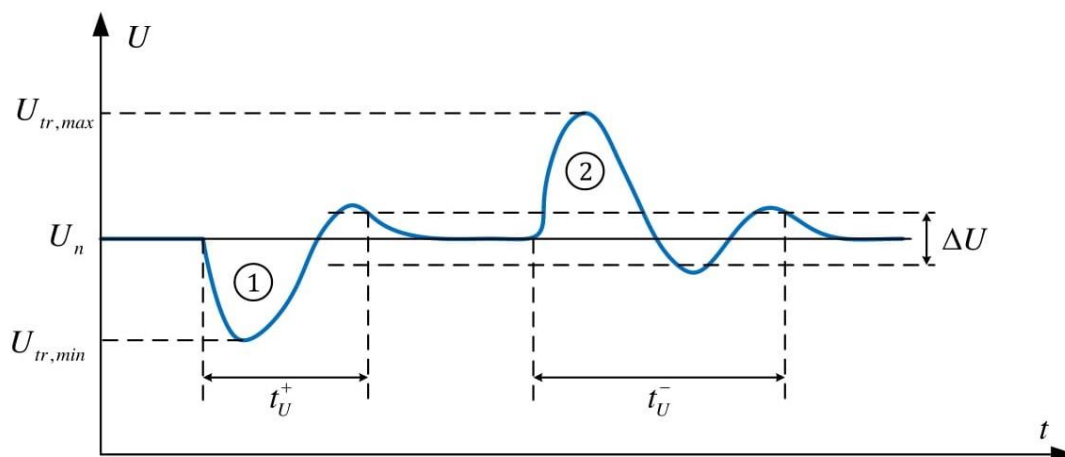
**Slika 8: Normalno stanje i međuzavojni spoj**

*Izvor: F. Šaut Električna zaštita brodskih generatora*

#### 4.4.ZAŠTITA OD PREOPTEREĆENJA

Preopterećenje generatora dijeli se na dvije kategorije. Prva i manje opasna je kratkoročno preopterećenje koje nastaje relativno često. Kod kratkoročnog preopterećenja dolazi prilikom priključivanja više trošila na mrežu. Ili kod priključivanja izuzetno velikih električnih trošila velike snage može doći do preopterećenja prilikom pokretanja zbog velikih struja koje su potrebne za startanje, s time da nominalna snaga trošila ne prelazi nominalnu snagu generatora. Samo kratkotrajno preopterećenje traje samo nekoliko sekundi (1,5s) i ne smije doći do povećavanja napona na 120% nazivnog napona generatora odnosno pada napona na 80% nazivnog napona. Ako se preopterećenje zadrži unutar navedenih vrijednosti onda to nije opasno jer ne može doći do pregrijavanja namotajima u tako kratkom vremenu. Generator se ne isključuje odmah jer je na njega priključen vremenski relej koji isključuje generator tek nakon određenog vremena kako bi se sustav mogao sam vratiti u

normalan režim rada ako to preopterećenje traje kratko. Dizajniranje generatora mora biti predviđeno za takva kratkotrajna preopterećenja zbog same sigurnosti cijeloga broda, posade i tereta u protivnom da dođe do isključivanja generatora iz mreže u nekim važnim navigacijskim trenucima, primjerice prilikom pristajanja broda u luku i sl. moglo bi izazvati veliku štetu.



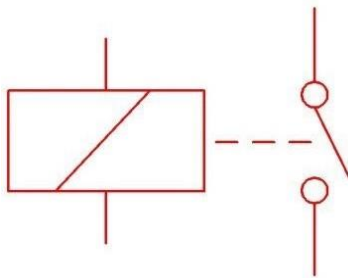
**Slika 9: Dinamički odziv napona na stezaljkama generatora pri iznenadnom opterećenju (1) i rasterećenju (2)**

*Izvor: Preuzeto s predavanja Doc. Dr. Sc. Aleksandar Cuculić*

Kod dugotrajnog preopterećenja dolazi kada se na mrežu priključuje više trošila čija je ukupna snaga veća od nominalne snage generatora koji ih napaja u vremenskim parametrima koji iznose između 20 i 60 sekundi. Zbog opasnosti i štete koju može uzrokovati dugotrajno opterećenje u tom slučaju se generator nekada štiti korištenjem bimetalne zaštite koja radi na elektromagnetskom principu. Više se ne koristi zato što indirektno zagrijavanje može uzrokovati savijanje bimetalne vrpce.

Danas se koriste elektronički relej koji detektira preopterećenje uz pomoć struje, ako se struja poveća dolazi i do pojačavanja elektromagnetskog polja koje pomakne kontakt releja, ali se koristi s vremenskim zatezanjem. Dakle kada dođe do preopterećenja relej aktivira vremenski član koji aktivira koji sam programira daljnje naredbe. Ako se u određenom vremenu opterećenje ne vrati u zadane vrijednosti onda relej počne izbacivati iz mreže manje važna trošila kako bi se smanjilo opterećenje za dizel generator. u slučaju da ni u tim okolnostima generator nije vraćen u zadane vrijednosti dopuštenog rada tada može doći i do

izbacivanja generatora iz mreže odnosno isključivanje generatora, a ako dođe do kratkog spoja trenutno se izbacuje generatorski prekidač iz pogona.



**Slika 10: Simbol elektromagnetskog releja**

*Izvor: <https://relequick.com/en/relay-symbol/>*

#### **4.5.ZAŠTITA OD POVRATNE SNAGE**

Na brodovima najčešće se koriste dva ili više dizel generatora za napajanje brodske mreže što znači da moraju biti sinkronizirani. Generatori uvijek proizvode veći napon od onoga koji je potreban za brodsku mrežu.

Slučaj kada dolazi je povratne snage je kada na jednom od dizel generatora inducirani napon postane manji od napona mreže. U tom trenutku dolazi do promjene smjera struje što znači da generator počne raditi u motorskom režimu rada, odnosno počinje uzimati struju iz mreže. Stoga kako bi se to spriječilo na generatore se ugrađuje relej odnosno zaštita od povratne snage koji detektira povratnu struju i u momentu kada je detektira izbacuje generator iz mreže.

#### **4.6. ZAŠTITA OD PRENAPONA I PODNAPONA**

Prenapon može nastati zbog povećanja brzine rotora generatora što može uzrokovano naglim gubitkom opterećenja na generatoru. Do prenapona može doći još zbog drugih razloga a to su: kvarova na uzбудnom krugu i/ili namotajima generatora, neadekvatno upravljanje uzбудnom strujom, nekakvom greškom prilikom sinkronizacije generatora.



Zaštita od takvih prenapona se vrši ugradnjom naponskog releja koji se postavlja na vrijednost između 110-130% nazivnog napona.

Ako su na mrežu priključena dva generatora i u jednom trenutku iz bilo kojeg razloga dođe do kvara na jednom od njih, odnosno ako se jedan generator izbaci iz mreže drugi generator na sebe preuzima cijelo opterećenje što uzrokuje nagli porast struje, a samim time dolazi do smanjenja napon koji može imati štetne posljedice za generator i trošila koja su spojena na njega. Da bi se to izbjeglo koristi se zaštiti od prenapona odnosno pod naponski relej koji će se aktivirati ako dođe do prevelikog pada napona.

#### **4.7.ZAŠTITA BRZOM RAZBUDOM**

Kod brzog iskapčanja koje može biti uzrokovano kratkim spojem, među zavojnim spojem ili spojem s masom nije dovoljna razina zaštite tako što će se izbaciti generator iz mreže, već su potrebne dodatne zaštite kako bi se potisnula uzbuda. Ako se ne bi aktivirala zaštita na mjestu kvara do zaustavljanja rotora bi tekla struja koja bi uz visoki napon izazvala velika razaranja. Razbuda se vrši tako što se u odgovarajućem spoju u uzbudnom strujnom krugu uključuju djelatni otpori koji poništavaju prikupljenu energiju polja i poprilično smanjuju ili potpuno poništavaju uzbudnu struju.

## **5. UPRAVLJANJE DIZEL GENERATORA**

### **5.1. ZAHTJEVI REGISTRA**

Kod tehničkog nadzora pomorskih brodova uz oznaku stroja dodaje se i kategorija automatizacije koje mogu biti [3]:

- AUT 1
- AUT 2
- AUT 3

AUT 1 je oznaka automatizacije koja se odnosi na brodove kojima je predviđena strojarnica bez nadzora i bez stalne službe na središnjem mjestu upravljanja.

AUT 2 je oznaka automatizacije koja se odnosi na brodove na kojima je predviđena strojarnica bez nadzora i bez stalne službe na središnjem mjestu upravljanja.

AUT 3 je oznaka automatizacije koja se odnosi na brodove koji ispunjavaju zahtjeve AUT 1, ali moraju ispunjavati i dodatne uvjete.

Kod brodova na nuklearni ili električni pogon stupanj automatizacije za pojedinu oznaku automatizacije određuje se dogovorno i mora biti u skladu sa zahtjevima Registra.

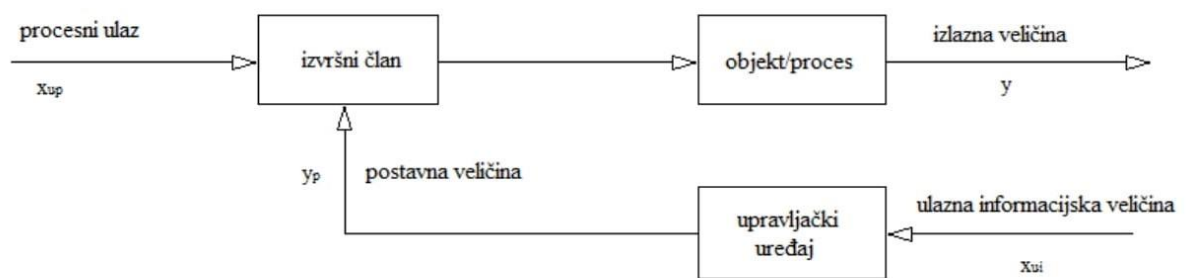
Ona pravila koja sadrže tehničke zahtjeve koji moraju udovoljavati automatska postrojenja i određuju opseg daljinskog automatskog upravljanja, signalizacije, zaštite, alarmiranja, mjerenja i indikacije. Kod pojedinih sustava i elemenata automatike koji se koriste bez oznake automatizacije isto tako moraju udovoljavati zahtjevima pojedinih dijelova Pravila koji se na njih odnose.

### **5.2. OPĆENITO O UPRAVLJANJU**

Upravljanje je radnja u kojoj se djeluje na ulaznu veličinu kako bi na izlazu imali željenu vrijednost izlazne veličine nekog sustava kojim se upravlja. Sustav upravljanja otvorenom petljom ne koristi nikakva usporedne referentne veličine, već se izlazna veličina mijenja prema unaprijed određenim parametrima. Samo upravljanje obuhvaća vrlo širok spektar djelovanja koje se očituje od vrlo jednostavnog kao što je sustav javne rasvjete do izrazito

složenih sustava u kojem je ukomponirana upotreba raznih releja, prekidača, sklopnika i indikacijska svjetla. Iz toga se može zaključiti da je svaki strujni krug ima svoj sustav upravljanja koji moraju udovoljavati namjenama za što su i dizajnirani. Za primjer se može uzeti neki motor u kojem je potrebno upravljanje elementima startanja i zaustavljanja, promjena brzine vrtnje, zaštitu motora ili pomoćnih komponenti i zaštitu samog osoblja.

Kod regulacije se koristi povratna veza s kojom se uspoređuje željena vrijednosti sa stvarnom vrijednosti koje sudjeluju u procesu, a kod upravljanja nema povratne veze. Signal djelovanja kod upravljanja ide samo u jednom smjeru, a ovaj princip rada se koristi kada zahtjevi za točnost i trajanje prijelaznih pojava nisu izrazito bitni ili kada se rijetko javljaju veliki poremećaji.



**Slika 11: Blok dijagram upravljanja**

*Izvor: Preuzeto s predavanja od Doc.dr.sc. Miroslava Bistovića*

Iz bloka dijagram se vidi da upravljači uređaj prima ulaznu informaciju veličinu ( $X_{ui}$ ) iz okoline, odnosno nema povratnu informaciju o ulaznoj vrijednosti ( $X_{up}$ ) kao ni o izlaznoj veličini ( $Y$ ). Svi poremećaji koji mogu nastati u samom procesu ili imaju utjecaj iz okoline imaju svoju vrijednost i utječu na proces odnosno na sustav, ali iznosi tih poremećaja ili smetnji ne dolaze u informacijskom obliku do upravljačkog uređaja. Algoritam koji je unesen u upravljački uređaj određuje postavnu veličinu ( $Y_p$ ). Kod ovakvog načina upravljanja prikaz konstrukcijskih detalja nisu potrebni, ali je važan funkcionalni prikaz.

Upravljači uređaj je vrlo složen jer posjeduje čitav niz upravljačkih algoritama, a korištenje istih se aktivira ovisno o informaciji ulazne veličine. Postoje razne vrste upravljačkih uređaja i shodno tome oni mogu biti dizajnirani na jednostavan ili na dosta

složeniji način. Korištenjem različitih mehaničkih programatora najčešće se upotrebljava za jednostavnije izvedbe. Kod složenih upravljačkih uređaja se primjenjuju osobna računala ili PLC-ovi (programirani logički kontroleri). PLC i ostala računala su danas najčešće koriste za upravljanja u raznim vrstama upravljanja, a nerijetko se koriste zajedno sa drugim oblicima upravljanja kako bi se upravljanje dovelo do još veće i točnije razine upravljanja.

### 5.3. RAZINE UPRAVLJANJA

Razvoj tehnologije omogućio je i stvorio velike brodove i njihove sustave kojima je nezamislivo da se njima upravlja ručno, stoga automatizirani sustavi upravljanja postali su gotovo neizbježni. Uvođenjem automatizacije došlo poboljšanja radnih uvjeta kao i do značajnih financijskih ušteda, prvenstveno kod potrošnje energije i smanjenja broja posade koju je zamijenila automatika.

Upravljanje izvorom električne energije odnosno dizel generatorom na brodu omogućeno je na daljinu, a primarna je:

- kontrolna soba strojarnice  
tu su još i
- navigacijski most,
- prostorija za upravljanje teretom,
- prostorija za upravljanje sigurnosnim ventilima i dr.

Neke od navedenih prostorija se koriste samo za nadzor, a neke za nadzor i upravljanje. Osim toga generatorom se može upravljati preko grafičkog sučelja na računalu i/ili sklopne ploče generatora. Kod nekih postupaka održavanja generatora može se njime upravljati i lokalno, ali kod lokalnog upravljanja su ograničene funkcije.

Podijeljeni sustav upravljanja realiziran je komunikacijskim sabirnicama koje se baziraju na LAN (local area network) i CAN (control area network) sabirnicama. CAN protokol pouzdan jer pri komunikaciji zbog svoje brzine i sigurnosti podataka, a kako je dvostruko izveden spriječene su mogućnosti nastanka kvara na primarnoj sabirnici. Distribucijske procesne jedinice koje pomoću senzora očitavaju određene vrijednosti kao što su temperatura, tlak i šaljku razne razine tekućine su povezane preko CAN sabirnica s udaljenom stanicom za upravljanje koja se nalazi u kontrolnoj sobi strojarnice. Pomoću ovih

programibilnih jedinica izvršavaju se funkcije automatizacije i nadziranja kao što su kontrolne i sigurnosne funkcije i alarmiranje. LAN sabirnice su isto kao i CAN sabirnice dizajnirane na isti način, odnosno fizički su odvojene i dvostruke. Njihova primarna uloga je omogućiti povezanost između stanice za upravljanje i drugih računala i njihovom opremom.

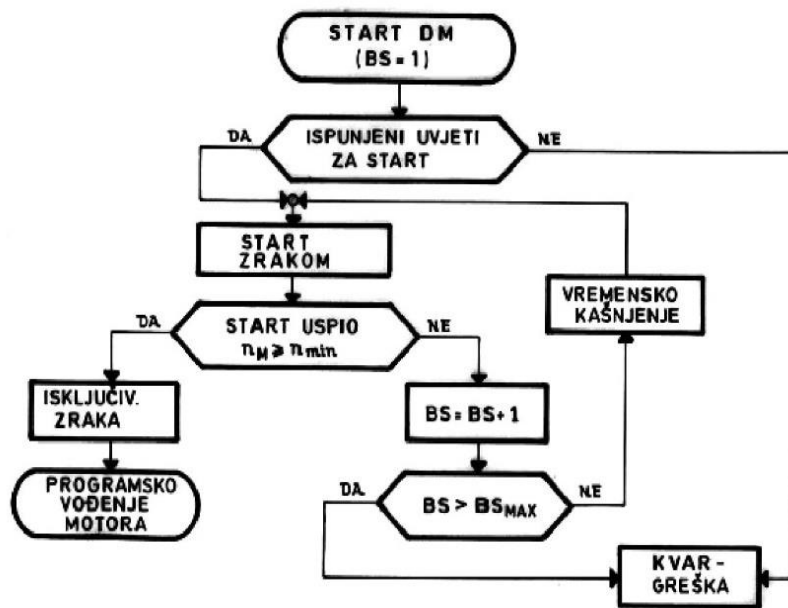


**Slika 12: Kontrolna soba strojarnice (Engine Control Room)**

*Izvor: [www.link.springer.com](http://www.link.springer.com)*

#### **5.4. UPRAVLJANJE SUSTAVOM DIZEL GENERATORA**

Dizelski motor je glavni pokretač generatora i zato se njegovo upravljanje svodi na procesu automatskog upućivanja i zaustavljanja, programskog vođenja u nominalni režim rada te automatske regulacije vrtnje. Postupak kojim se upućuje dizel motor primarno koristi uputni zrak koji dolazi od služe startnog (uputnog) zraka. Tlak zraka kojim se motor upućuje mora imati veći iznos od određene donje granične vrijednosti.



**Slika 13: Dijagram toka programskog vođenja motora u zadani režim**

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

Značenje skraćenica na dijagramu [3]:

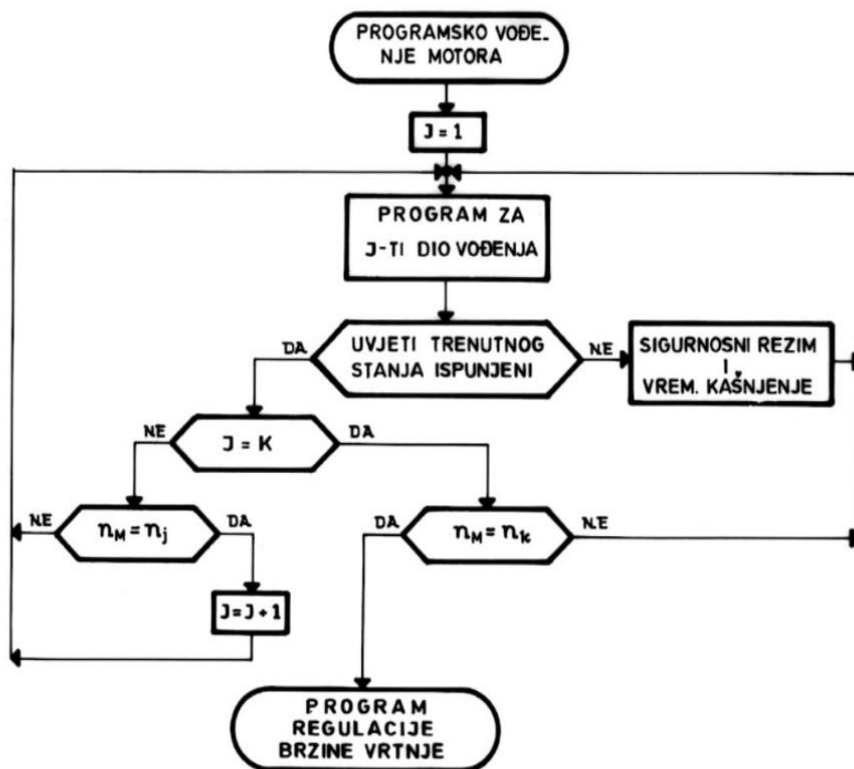
BS - Broj pokušaja upućivanja

$n_M$  - stvarni broj okretaja motora

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

BSMAX - maksimalan broj okretaja dovoljan za uspješno upućivanje

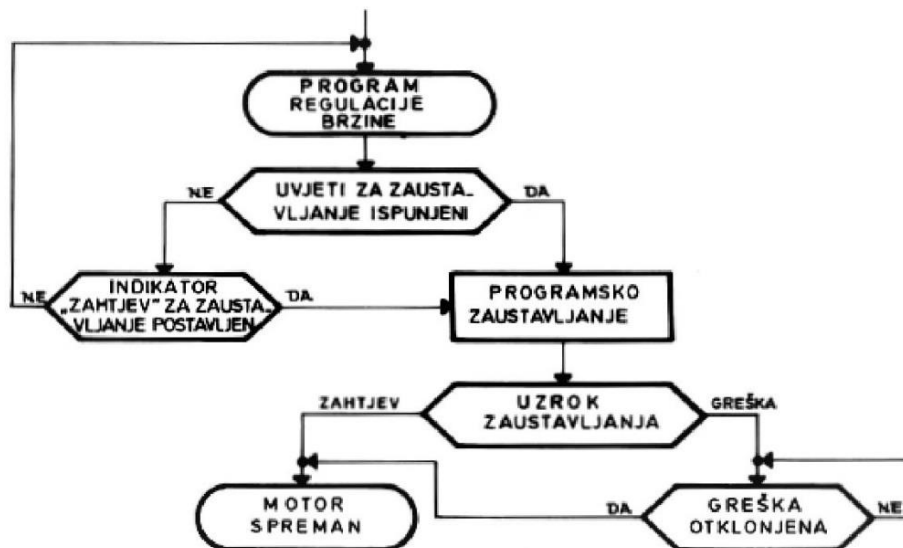
Kada je uspješno izvršen postupak upućivanja dizel motora slijedi postupak automatske regulacije vrtnje gdje se želi postići frekvencija od 50 Hz. Programsko vođenje motora se realizira povećanjem brzine vrtnje motora uz kontinuirano provjeravanje vrijednosti parametara važnih za ispravan i siguran rad motora



**Slika 14: Dijagram toka programskog vođenja motora u zadani režim**

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

Kada se motor nalazi u nominalno režimu rada nakon toga slijedi postupak regulacije vrtnje pomoću automatskog regulatora. Za vrijeme trajanja postupka regulacije brzine vrtnje u isto vrijeme se kontinuirano ispituju uvjeti koji su potrebni za zaustavljanje motora. Primjerice mogu biti neke greške ili nastali kvarovi kao i ako dođe do prekoračenja graničnih vrijednosti kritičnih parametara. Ako se neki od navedenih uvjeta i ispune dolazi do postupka kojim se prelazi na programsko zaustavljanje. Isto tako može doći do programskog zaustavljanja ako je postavi status zahtjeva za zaustavljanje. Kako bi se izbjegle neželjene posljedice primjenjuje se procedura zaustavljanja motora koja se vrši prema unaprijed određenom algoritmu.



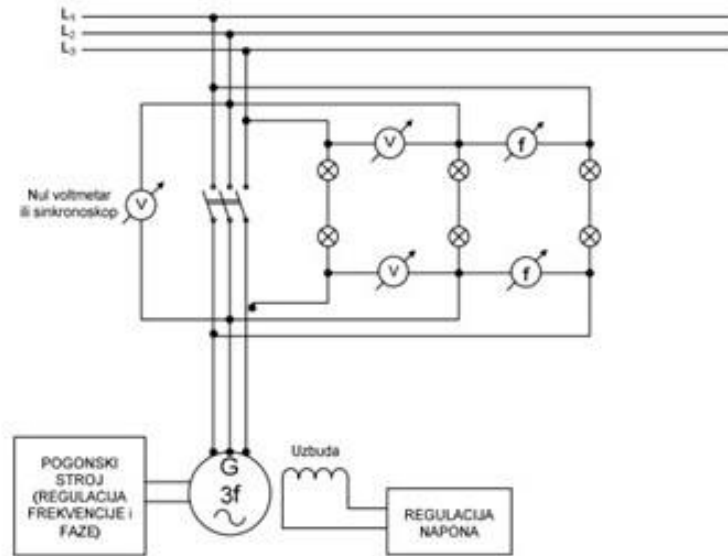
**Slika 15: Dijagram toka programskog zaustavljanja motora**

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

Kod automatskog upravljanja pojedinih elemenata motora kao što su kompresori, pumpe, ventili i drugo, primjenjuju se programske sekvence za automatsko startanje, nadzor, dijagnostiku stanja, dojavu kvarova i automatsko uključivanje/isključivanje stand-by elemenata. Elektronički PID regulatori i tro položajni regulacijski ventili se koriste za regulaciju temperature u sustavima hlađenja i podmazivanja motora.

U postupku sinkronizacije postoje određeni uvjeti koji moraju biti zadovoljeni. Primarni uvjeti koji moraju biti zadovoljeni kako bi se generator priključio u paralelni rad s drugim generatorima odnosno u brodsku mrežu su jednaka vrijednost napona generatora i mreže, približno jednaka frekvencija generatora i mreže i zadnji uvjet je istofaznost generatora i mreže u trenutku priključivanja u mrežu. Jednakost napona generatora i mreže je postupak koji se postiže automatski odnosno regulacijom samo uzbude generatora. Što se tiče postizanja približno jednake frekvencije i istofaznosti napona to se postiže promjenom brzine vrtnje motora, neposrednim djelovanjem na regulator broja okretaja. Kako bi uspješno bila izvršena sinkronizacija i samo priključivanje generatora na mrežu primjenjuje se mikro električni sustav upravljanja koji zahtjeva da se definiraju algoritmi za: određivanje, izjednačavanje i stabilizaciju frekvencija generatora i mreže; Izjednačavanje faza napona mreže i generatora i ubacivanje generatorske sklopke.





**Slika 16: Shema sinkronizacijskog sklopa**

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

Velika brzina rada koju imaju mikro električni sustavi, a relativnu sporost generatorski procesi stoga je za određivanje frekvencije generatora i mreže prilikom sinkronizacije je primjena programiranih vremenskih brojila koji su standardne komponente procesorskog sustava te odgovarajućih prekida programa. Stoga se koriste posebne linije za prekidanje programa. Detektor nule i faze mjernog signala napona mreže i generatora određuju vremenski trenutak zahtjeva za prekid tako što pri svakom prolazu napona kroz nulu u pozitivnom smjeru emitira signal zahtjeva za prekid. Navedena dva uzastopna prekida od kojih je jedan za start programabilnih vremenskih brojila dok je drugi za start. Pomoću njih se određuje frekvencija mjernog signala odnosno frekvencija mreže i generatora. Broj bita (veličina vremenskih brojila) direktno ovisi o točnosti određivanja frekvencija. Za mjerne kanale gdje je donja granična frekvencija  $f_d$ , a period upravljačkih impulsa je:

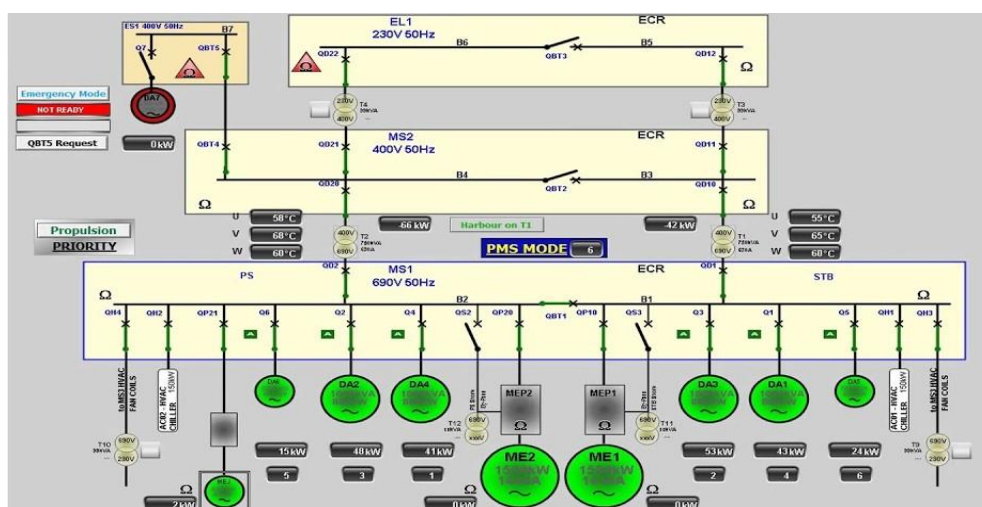
$$T_{im}=1/(f_d*2^n)$$

n- broj bita (duljina) programabilnih brojila.

Kada se postiglo da su frekvencije mreže i generatora približno jednake program određuje vrijeme kada će izjednačiti napone mreže i generatora i vremenski trenutak uključivanja generatorskog prekidača uzimajući u obzir vrijeme kašnjenja generatorskog prekidača koje iznosi od 50 ms do 300 ms.

## 5.5. SUSTAV UPRAVLJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

PMS (power management system) je sustav projektiran za upravljanje električnom energijom na brodovima. Pomoću ovog sustava je osigurana stalna opskrba električnom energijom odnosno sustav se brine da generatori proizvode dovoljno električne energije za potrošače. Isto tako PMS sustav detektira razliku između kratkotrajnih nedozvoljenih vrijednosti od kvarova u sustavu. Ako dođe do preopterećenja električne mreže PMS sustav može isto tako isključivati iz mreže manje važna trošila. Bitno je naglasiti da sustav nastoji održavati generatore u optimalno radu kako bi se smanjila potrošnja goriva i emisije plinova. Regulacija je isto tako važan faktor zato što se raspodjela djelatne snage povezuje s frekvencijom, a sama regulacija se vrši dovodom goriva u pogonski stroj pomoću speed droop metode i izokrona metoda broja okretaja. Kod podešavanja regulatora se koriste dvije metode: astatička ili astatička karakteristika koja nema pad frekvencije dok speed droop dopušta propad frekvencije do 5%.



Slika 17: Sustav upravljanja energijom

Izvor: [www.barillec-marine.com](http://www.barillec-marine.com)

Ova karakteristika se najčešće postavlja automatski kako bi se osigurala stalna frekvencija. Glavno mjesto gdje su upravlja motorom je ECR u strojarnici, a isto tako se može upravljati i s navigacijskog mosta s tima da ECR ima prioritet. PMS ima dvije vrste opreme koje se dijele na esencijalnu i neesencijalnu. Esencijalna oprema je podijeljena na: sistem proizvodnje i opremu, navigacijska oprema i komunikacija, ventilacijska oprema i osvjtljenje.

Status rada u kojem se brod nalazi ovisi količina električne energije koja je potrebna za normalno funkcioniranje brodske centrale.

Kod prvog režima rada električna centrala broda ima vrlo malo opterećenje zbog toga što se brod nalazi u luci i samo rade manji potrošači kao što su rasvjeta, grijanje, ventilacija, itd.

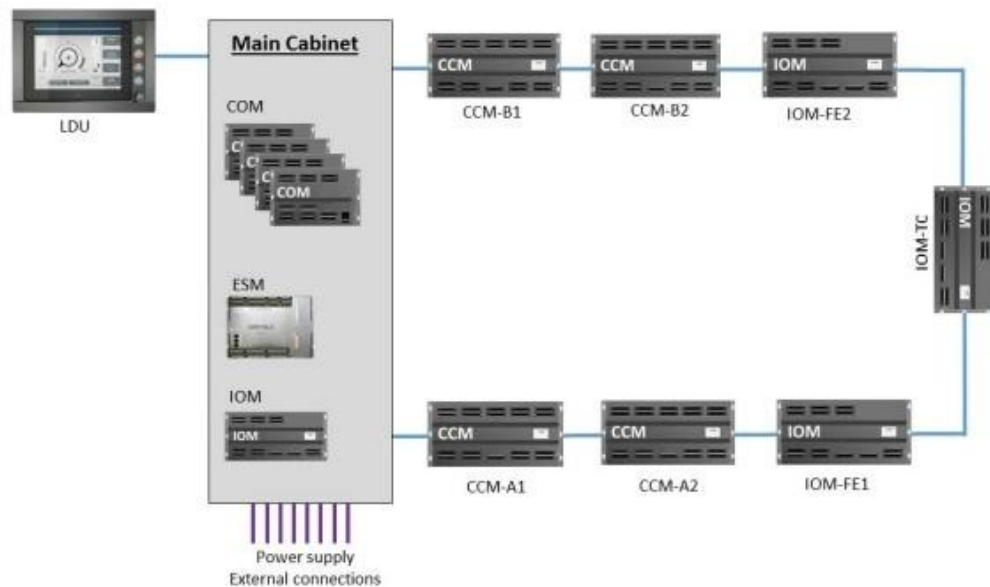
Drugi režim rada je isto kada se brod nalazi u luci, ali pri ukrcavanju ili iskrcavanju tereta, dobavi materijala, hrane i sl. Za to vrijeme je potrebna veća količina električne energije zbog priključenim pumpi tereta, dizalica. U ovim situacijama su paralelno priključeni svi generatori na brodsku mrežu i u slučaju kvara na jednom od njih ostali će nadomjestiti potrebnu električnu energiju.

Pri trećem režimu rada je u trenucima kada brod manevrira prilikom pristajanja u luku ili se nalazi u nekim uskim prolazima ili kanalima u kojima je uključeno manevriranje. Prilikom takvih manevarskih radnji najveću potrošnju električne energije čine bočni i pod trupni porivnici. U tim situacijama moraju barem dva generatora biti priključena na mrežu, ali im je onemogućeno zaustavljanje zbog raspodjele opterećenja tj u trenucima kada je opterećenje svakog generatora dovoljno mala. To se primjenjuje zbog neujednačenog rada bočnih porivnika.

Četvrti režim rada se primjenjuje kada je brod u navigaciji na otvorenom moru i onda su u najmanje dva generatora u upotrebi, a mogu se automatski zaustavljati ili pokretati ovisno o potrebnoj električnoj energiji u mreži.

## 5.6. UPRAVLJANJE DIZEL GENERATORA U UNIC (Wärtsilä Unified Controls) SUSTAVU

Wärtsilä Unified Controls - UNIC je ugrađeni sustav za upravljanje dizel generatorom, koji upravlja svim kontrolnim funkcijama na motoru. Na primjer pokretanje, zaustavljanje, ubrizgavanje goriva, kontrola brzine, podjela opterećenja i sigurnosna isključenja. Distribuirani moduli komuniciraju preko interne komunikacijske sabirnice. Napajanje svakog modula fizički se udvostručuje na motoru za potpunu redundanciju. Upravljački signali prema/iz vanjskih sustava povezani su s glavnim ormarićem na motoru.



**Slika 18: Konfiguracija sustava UNIC**

Izvor: [https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w46f.pdf?utm\\_source=engines&utm\\_medium=dieselengines&utm\\_term=w46f&utm\\_content=productguide&utm\\_campaign=mp-engines-and-generating-sets-brochures](https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w46f.pdf?utm_source=engines&utm_medium=dieselengines&utm_term=w46f&utm_content=productguide&utm_campaign=mp-engines-and-generating-sets-brochures)

Značenje kratica u konfiguraciji:

- COM - Komunikacijski modul
- LOP - prikazuje sve mjere motora
- IOM - Ulazno/izlazni modul upravlja mjerenjima
- CCM - Upravljački modul cilindra
- ESM - Ručke sigurnosnog modula motora

Lokalna upravljačka ploča sastoji se od jedinice za prikaz LDU sa zaslonom osjetljivim na dodir i tipke kao i tipku za zaustavljanje u nuždi ugrađenu na motoru. Lokalna upravljačka ploča prikazuje sva mjerenja motora (npr. temperature i tlakove) i pruža različite indikacije statusa motora kao i povijest događaja. Dostupne su sljedeće kontrolne funkcije:

- Odabir lokalnog/daljinskog upravljanja
- Lokalno pokretanje i zaustavljanje
- Hitno zaustavljanje

Motor se pokreće ubrizgavanjem komprimiranog zraka izravno u cilindre. Motor se može pokrenuti lokalno ili daljinski ako je primjenjivo za instalaciju. U hitnoj situaciji također je moguće ručno upravljati zračnim ventilom za pokretanje. Kod elektroničke kontrole brzine integrirana je u sustav automatizacije motora.

Pokretanje je onemogućeno sljedećim funkcijama ako je [4]:

- Uključen je okretni zupčanik
- Nizak tlak prije podmazivanja
- Ručno blokirano s lokalne operatorske ploče
- Zaustavljanje ili isključivanje aktivno
- Vanjske blokade pokretanja aktivne
- Motor već u radnom stanju

Normalno zaustavljanje može se pokrenuti lokalno ili daljinski ako je primjenjivo za instalaciju. U normalnom zaustavljanju sekvenca zaustavljanja je aktivna dok se motor ne zaustavi. Nakon toga sustav automatski se vraća u način “spreman za početak” u slučaju da nijedna funkcija bloka starta nije aktivna, tj. nema potrebe za ručnim resetiranjem normalnog zaustavljanja. Zaustavljanje u nuždi može se aktivirati pomoću lokalnog gumba za zaustavljanje u nuždi ili putem daljinskog upravljača mjesto prema potrebi.

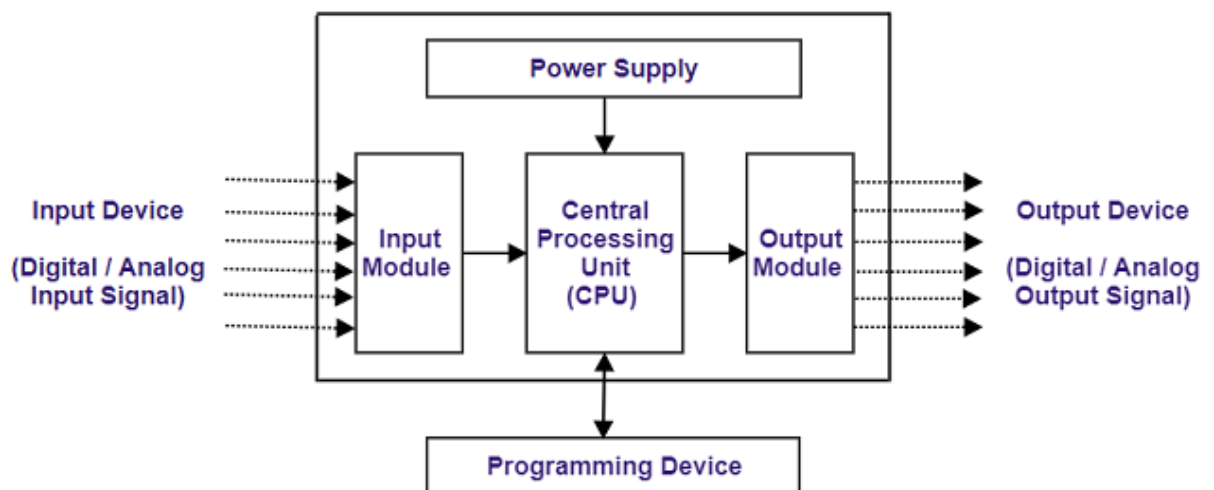
Što se tiče senzora na motoru, stvarna konfiguracija signala i razine alarma nalazi se u projektnoj dokumentaciji.

Povećanje opterećenja tijekom ubrzanja broda, manevriranja i prijenosa opterećenja između generatora mora se kontrolirati prema točno određenim uputama. Smanjenje opterećenja od velikog opterećenja mora biti ograničeno brzinom u normalnom radu. U području niskog opterećenja, koje se obično koristi tijekom manevriranja, opterećenje se može smanjiti bez ograničenja brzine. Odziv na povećanje i smanjenje impulsa iz PMS-a ili

sinkronizatora je 0,1 Hz u sekundi prema zadanim postavkama, ali stopa je podesiva. Stvarna brzina i/ili promjena opterećenja puno sporijom brzinom, osobito kada su prilagodbe male. Preporučeno mrtvo područje za balansiranje opterećenja (PMS kontrola) je  $\pm 2\%$  nazivne snage. Motor može apsorbirati 5% povratne snage. Preporučena postavka za napajanje unatrag zaštita je 5% nazivne snage s odgodom od 10 s.

## 5.7. PLC (programmable logic controller)

PLC ili na hrvatski programibilni logički kontroler je robusno računalo koje se koristi za industrijsku automatizaciju. On može automatizirati određeni proces, funkciju stroj ili cijeli sistem nekoga stroja. PLC prima informacije od povezanih senzora ili ulaznih uređaja, obrađuje podatke i pokreće izlaze na temelju unaprijed programiranih parametara. Ovisno o ulazima i izlazima, PLC može pratiti i bilježiti podatke o vremenu rada kao što su produktivnost stroja ili radna temperatura, automatski pokretati i zaustavljati procese, generirati alarme ako stroj ne radi i još mnogo toga. Sastoji od nekoliko osnovnih dijelova to uključuje napajanje, centralnu procesorsku jedinicu (CPU), ulazno/izlazne kartice i stražnju ploču ili stalak u koji se ulazno/izlazne (I/O) kartice postavljaju.



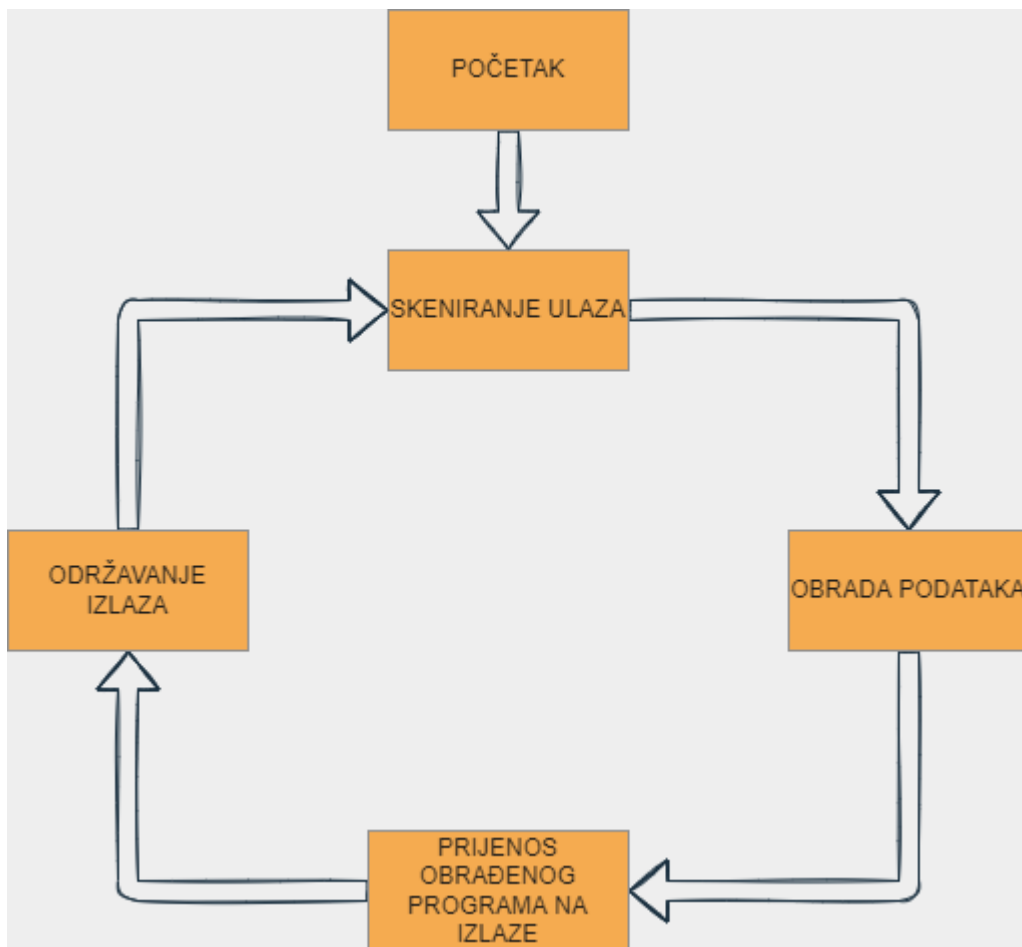
**Slika 19: Blok dijagram PLC-a**

Izvor: <https://dipslab.com/plc-input-output-modules-2/>

CPU (procesor) je glavna jedinica unutar PLC-a koja može obavljati funkcije poput: Očitavanje ulaznih vrijednosti, Izvršavanje programskog koda, komunikacija s ostalim uređajima. Princip rada PLC-a je zasnovana na sken ciklusu što znači da automatski

kontinuirano skenira podatke i obrađuje ih. Stanje na izlazu se mijenja posljedično zbog promjene ulaza na principu logike na kojoj radi program. Cijeli ciklus obrade podataka se sastoji od četiri faze [5]:

- U prvoj fazi (skeniranje podataka) se obrađuju ulazni podaci odnosno PLC provjerava podatke koje prikupi od senzora, prekidača, itd. i sprema ih u svoju memoriju
- Druga faza se odnosi na obradu podataka programa gdje se izvršavaju logičke radnje temeljene na ulaznim podacima i sprema se rezultat u izlazni memorijski registar procesora
- Treća faza je gdje se podaci iz memorijskog registra šalju na izlaz PLC-a
- Četvrta faza je procesorsko organizacijsko vrijeme i komunikacija odnosno održavanje i tu se odvija komunikacija sa programskim terminalima i samo dijagnostika.



**Slika 20: Ciklus rada PLC-a**

*Izvor: autor*

Na gornjoj slici je prikazan ciklus ponavljanja koji skeniranjem ulaza i pomoću njega PLC uređaj određuje stanja jedinica koje su spojene na PLC. Podaci koje je CPU očitao se prenose u dijelove memorije. Nakon toga dolazi do programskog skena (obrada podataka) gdje procesor izvršava određene naredbe koje obuhvaća program i pohranjuje rezultate u memoriju. Na izlazu se sken izvršava nakon programskog skena i na temelju informacija koje je dobio na ulazu dalje se nastavlja ili dolazi do prekida izvršavanje određene radnje. Nakon izlaznog skena se odrađuje komunikacija i održavanje te nakon toga se cijeli ciklus ponavlja.

Pri programiranju PLC-a se primjenjuju funkcionalni blokovi te BASIC orijentalni jezici i najučestaliji načini programiranja PLC-a je Ladder programiranje. Što se tiče spajanja PLC-ova na ulaze se mogu spajati prekidači, enkoderi, plovke, tipkala, itd., a na izlaze je moguće spojiti pumpe, ventilatore, ventile, startere motora, kontrolne releje, itd.



## 6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu opisana je i slikovito objašnjena primjena zaštite i upravljanje dizel generatora. Uloga dizel generatora je izrazito važna na brodu uslijed činjenice da je glavni izvor električne energije. Kao sva druga električna oprema na brodu pa tako i dizel generator mora imati određene zaštite kako bi mogao nesmetano biti u uporabi u cilju zaštite broda i njegovog osoblja. Detaljno su objašnjeni sustavi zaštite dizel generatora koji su izrazito važni za rad i stabilnost sustava brodske mreže. Cilj aktiviranja zaštita nije samo zaštita dizel generatora, nego i zaštita drugih električnih uređaja.

Opisani su detaljni postupci sinkronizacije kao i samo upućivanje i zaustavljanje dizel generatora. Mogućnost automatskog upravljanja omogućilo je puno lakše rukovanje i održavanje dizel generatora. Ukratko su opisani postupci upravljanja dizel generatora prema različitim uvjetima rada. Osim toga u radu je prikazan i način povezivanja preko CAN sabirnica dizel generatora i upravljačke ploče. Na kraju je objašnjen princip rada PLC-a te njegova konfiguracija, blok dijagram i ciklus rada. PLC je glavni upravljači uređaji koji je uvelike promijenio način upravljanja. Upravljanje je uvelike olakšalo postupak održavanja uređaja na brodu što je rezultiralo rjeđim kvarovima.

## LITERATURA

- [1] Vučetić D., 2011, Brodski električni strojevi i sustavi, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka
- [2] Skalicki B., Grilec J., 2008 Brodski električni uređaji, Fakultet strojarstva i brodogradnje, drugo izdanje, Zagreb
- [3] Tomas V., Šegulja I., Valčić M., 2010 Osnove automatizacije, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka
- [4] Antonić R., 2010 Brodsko automatsko upravljanje, Pomorski fakultet u Splitu, Split
- [5] Šaut F., 1979 Električna zaštita brodskih generatora, Zagreb
- [6] Cuculić, A. 2020, Električni poriv broda, Autorizirani materijali s predavanja i vježbi, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, Hrvatska
- [7] <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-46f>
- [8] <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/generating-sets/wartsila-gensets>
- [9] <https://www.amci.com/plc-automation-products/specialty-io/>
- [10] <https://marineengineeringonline.com/emergency-generator-on-ships/>
- [11] <https://electrotechnical-officer.com/all-about-ship-explosion-hazardous-areas-ex-protection-on-ship-electrical-system/>
- [12] <https://electrotechnical-officer.com/all-about-load-sharing-and-parallel-work-of-ship-ac-generators/>
- [13] <https://electrotechnical-officer.com/all-about-automatic-speed-regulation-on-ship-ac-generators/>
- [14] [https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w46f.pdf?utm\\_source=engines&utm\\_medium=dieselenines&utm\\_term=w46f&utm\\_content=productguide&utm\\_campaign=mp-engines-and-generating-sets-brochures](https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w46f.pdf?utm_source=engines&utm_medium=dieselenines&utm_term=w46f&utm_content=productguide&utm_campaign=mp-engines-and-generating-sets-brochures)
- [15] <https://www.barillec-marine.com/systeme-de-production-de-gestion-de-lenergie/>
- [16] <https://relequick.com/en/relay-symbol/>
- [17] <https://www.electrical4u.net/>
- [18] <https://teckhmarine.blogspot.com/2018/06/marine-electrical-distribution.html>

## KAZALO KRATICA

<b>Oznaka kratice</b>	<b>Engleski naziv</b>	<b>Hrvatski naziv</b>
V	Eng voltage	Napon
Hz	Eng frequency	Frekvencija
AC	Eng alternating current	Izmjenična struja
DC	Eng direct current	Istosmjerna struja
A	Eng current	Jakost struje
PMS	Eng power management system	Sustav upravljanja električnom energijom
PLC	Eng programmable logic controller	programabilni logički kontroler
DG	Eng diesel generator	Dizel generator

## POPIS SLIKA

Slika 1: Prikaz elektroenergetskog sustava broda .....	4
Slika 2: Dizelski generator Wartsila 7L32 .....	5
Slika 3: Krivulja specifične potrošnje goriva za dizelski motor (Wartsila 7L32) .....	6
Slika 4: Vrste kratkih spojeva.....	11
Slika 5: Struja kratkog spoja generatora.....	12
Slika 6: Uzemljeno zvjezdište preko otpornika .....	13
Slika 7: Spoj s masom preko otpornika .....	14
Slika 8: Normalno stanje i međuzavojni spoj .....	15
Slika 9: Dinamički odziv napona na stezaljkama generatora pri iznenadnom opterećenju (1) i rasterećenju (2) .....	16
Slika 10: Simbol elektromagnetskog releja .....	17
Slika 11: Blok dijagram upravljanja .....	20
Slika 12: Kontrolna soba strojarnice (Engine Control Room) .....	22
Slika 13: Dijagram toka programskog vođenja motora u zadani režim .....	23
Slika 14: Dijagram toka programskog vođenja motora u zadani režim .....	24
Slika 15: Dijagram toka programskog zaustavljanja motora.....	25
Slika 16: Shema sinkronizacijskog sklopa .....	26
Slika 17: Sustav upravljanja energijom .....	27
Slika 18: Konfiguracija sustava UNIC .....	29
Slika 19: Blok dijagram PLC-a .....	31
Slika 20: Ciklus rada PLC-a .....	32

