

# Automatizacija brodske električne centrale

---

**Badurina, Jakov**

**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:187:638851>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-03**



**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**

**JAKOV BADURINA**

**AUTOMATIZACIJA BRODSKE ELEKTRIČNE  
CENTRALE**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, rujan 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**AUTOMATIZACIJA BRODSKE ELEKTRIČNE  
CENTRALE  
SHIP POWER PLANT AUTOMATION**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Automatizacija brodskih sustava

Mentor: doc. dr. sc. Miroslav Bistović

Student: Jakov Badurina

Studijski smjer: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112081606

Rijeka, rujan 2023.

Student: Jakov Badurina

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112081606

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom  
Automatizacija brodske električne centrale


---

izradio samostalno pod mentorstvom  
doc. dr. sc. Miroslav Bistović

---

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

Student



Ime i prezime studenta

Student: Jakov Badurina

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112081606

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/ - autor

*Jakov Badurina*

---

(potpis)

## SAŽETAK

U ovom se radu opisuje automatizacija brodske električne centrale, i zahtjevi automatike koji se moraju ispuniti. Na samome početku rada opisana je povijest automatizacije na brodu i klase automatizacije. U glavnom dijelu opisuje se elektroenergetski dio broda u kojem su navedene vrste generatora te napajanje broda s kopna.

Također u glavnom dijelu opisuje se i glavna rasklopna ploča broda, njezina podjela, te sinkronizacija generatora. Na kraju rada opisano je upravljanje brodskom električnom centralom na više načina. Kao primjer korišten je sustav za upravljanjem električne energije PMS 2100.

**Ključne riječi:** generator, automatika, brodska električna centrala, glavna rasklopna ploča, upravljanje električnom energijom

## SUMMARY

This paper describes the automation of a ship's electrical control center and the requirements that automation must fulfill. At the beginning of the paper, the history of automation on board and classes of automation are discussed. In the main part, the electrical power system of the ship is described, including various types of generators and shore power supply.

Towards the end of the paper, the management of the ship's electrical control room is described in various ways. An example used is the Power Management System (PMS) 2100 for managing electrical energy.

**Keywords:** generator, automation, ship's electrical control room, main switchboard, electrical energy management.

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK.....</b>	<b>II</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>II</b>
<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPĆENITO O AUTOMATIZACIJI I BRODSKOJ AUTOMATICI.....</b>	<b>2</b>
2.1. RAZVOJ AUTOMATIZACIJE BRODA KROZ POVIJEST .....	3
2.2. KLASSE AUTOMATIZACIJE.....	6
<b>3. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV BRODA .....</b>	<b>7</b>
3.1. NAPONSKE RAZINE ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA BRODA .....	7
3.2. IZVORI IZMJENIČNOG NAPAJANJA.....	8
3.2.1. Dizel generatori.....	8
3.2.2. Osovinski generatori .....	11
3.2.3. Turbo generatori .....	14
3.2.4. Generator za nužnost .....	15
3.2.5. Napajanje s kopna.....	16
3.3. IZVORI ISTOSMJERNOG NAPONA .....	17
3.3.1. Akumulatorske baterije .....	17
<b>4. BRODSKA ELEKTRIČNA CENTRALA.....</b>	<b>19</b>
4.1. GLAVNA RASKLOPNA PLOČA.....	19
4.1.1. Visokonaponska glavna rasklopna ploča.....	21
4.1.2. Niskonaponska glavna rasklopna ploča.....	22
4.2. RASKLOPNA PLOČA ZA NAPAJANJE U NUŽDI.....	23
4.3. SINKRONIZACIJA GENERATORA .....	24
<b>5. UPRAVLJANJE BRODSKOM ELEKTRIČNOM CENTRALOM.....</b>	<b>25</b>
5.1. RUČNO UPRAVLJANJE.....	26
5.2. POLUAUTOMATSKO UPRAVLJANJE .....	27
5.3. AUTOMATSKO UPRAVLJANJE.....	27
<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>30</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>31</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>32</b>

# 1. UVOD

Brodsko električna centrala je među najvažnijim sastavcima broda, ona je zapravo „srce“ svakog broda, pružajući energiju potrebnu za pogon, proizvodnju električne energije i vođenje ključnih operacija. Evolucija električne centrale, od tradicionalnih, starih i ručno upravljanih sustava pa sve do visoko automatiziranih sustava, revolucionirala je upravljanje i način rada broda, povećavajući operativnu učinkovitost, smanjenje ljudskih pogrešaka te smanjenje zagađivanja okoliša.

Koncepti automatizacije u električnim centralama na brodu čine različite tehnološke discipline poput kontrolnih sustava, upravljanja energijom, instrumentaciju, robotiku, umjetnu inteligenciju. U tom aspektu automatizacije bazira se na integraciju tih tehnologija za kontrolu, nadzor i optimizaciju sustava za proizvodnju, pogon i za pomoćne sustave broda.

U ovom radu stupamo u viša područja automatizacije brodskih energetske sustava i brodske električne centrale. Istražujući značaj, izazove i prednosti te budućnost automatike. Preispitati će se ključne komponente i tehnologije koje obuhvaćaju automatiziranu centralu, i operativne prednosti koje ona nudi.

Također, u radu obuhvatiti će se i elektroenergetski sustavi na brodu, temeljna načela električnog pogona, razjašnjavanje ključnih karakteristika mreže za proizvodnju i distribuciju električne energije te utjecaj istih na različite aspekte u pomorskom prometu.

Zbog „zamršenosti“ elektroenergetskih sustava u pomorstvu, ovaj rad nastoji pomoći razumijeti brodske električne sustave i pojasniti cijeli proces budućim električarima i automatičarima.

Integracija elektroenergetskih sustava predstavlja znak napretka, usmjeravajući prema sigurnijoj, ekološki čistijoj i jednostavnijoj plovidbi.



## 2. OPĆENITO O AUTOMATIZACIJI I BRODSKOJ AUTOMATICI

Na brodu su svi uređaji i sustavi automatike obično namijenjeni obavljanju primarnih zadaća koje su: automatsko pokretanje i zaustavljanje, nadzor rada, signalizacija i alarmi, automatska regulacija, automatsko upravljanje i automatska zaštita.

Sistemi automatskog pokretanja i zaustavljanja: pružaju postupke i metode za automatsko upućivanje, zaustavljanje ili reverziju motora i pogona prema nekom unaprijed definiranom programu.

Sistemi automatskog nadzora: konstantno prate relevantne varijable i parametre i predstavljaju rad odnosno dinamiku procesa (upravljanje i regulaciju); daju trenutno stanje i tijek odvijanja procesa. Ključni su element za kvalitetu upravljanja i dijagnosticiranja.

Sistemi automatske signalizacije i alarma: njihova svrha je da služe za dokumentiranje i prikaz informacija tijekom izvođenja procesa, te za upozoravanje u slučaju nenormalnih situacija ili poteškoća u funkcionalnosti i radu strojeva, procesa i uređaja.

Sistemi automatske blokade i zaštite: svrha im je omogućiti automatsko djelomično-selektivno ili potpuno zaustavljanje određenih dijelova i procesa stroja, kako bi zaštitili uređaj ili stroj od ozbiljnih kvarova ili ozbiljnih problema u funkcioniranju.

Sistemi automatskog upravljanja: koriste se za upravljanje i vođenje strojeva i procesa bez neposrednog sudjelovanja operatera. (primjer je neovisna automatizirana strojarnica bez prisustva člana posade)

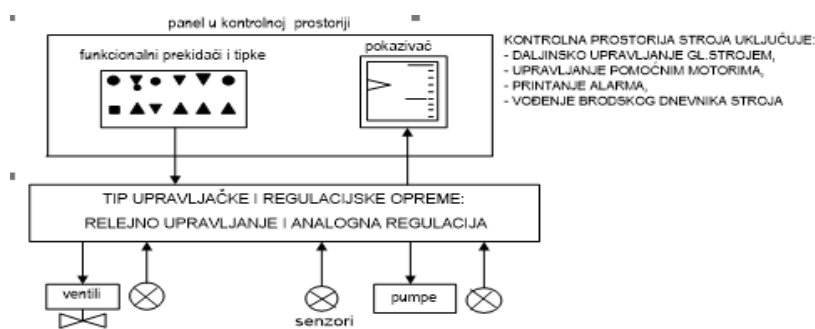
Sistemi automatskog reguliranja: predstavljaju manje i lakše složene sustave automatskog nadzora koji izvršavaju zadatke upravljanja tokom operacija procesa i strojeva. Primjer takvog reguliranja je reguliranje broja okretaja stroja, podešavanje i regulacija opterećenja na generatorima, održavanje frekvencija, te kontrolu temperatura raznih tekućina. [3]

## 2.1. RAZVOJ AUTOMATIZACIJE BRODA KROZ POVIJEST

Razvoj automatike broda možemo prikazati kroz četiri generacije.

**Prva generacija** je trajala od približno 1960 do 1980 godine. Sadržaj prve generacije odnosi se na automatizaciju proizvodnje električne energije, upravljanje glavnog motora na daljinu (daljinsko upravljanje), te automatska nadgledanja i reagiranja u slučaju izvanrednih kvarova, automatska regulacija temperaturnih krugova, tlakova, i regulacija ostalih veličina.

Ovu fazu automatizacije označava relejno upravljanje i analogna regulacija, i dalje ne postoji mogućnost nadziranja cjelokupnog sustava stroja iz samo jedne prostorije jer s instalacijama koje su se koristile nemoguće je bilo prenesti potreban broj očitavanja. Također već su se koristili senzori koji su pokazivali vrijednosti na mjernim instrumentima u kontrolnoj prostoriji.



Slika 1. Prva generacija brodske automatizacije od 1960. do 1980. godine.

Izvor: Tomas V. 2021. Autorizirani materijali s predavanja, „Računalno upravljanje brodskim sustavima“, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, Hrvatska

### Druga generacija

Primjena mikroprocesora pridonijela je daljnjem olakšavanju radnih procesa i pojednostavljivanju zadataka, što je rezultiralo pojavom druge generacije automatizacije na brodovima. Trajala je približno od 1980. do 1990. godine. I dalje se oslanja na relejno upravljanje, no sada se pojavljuju i digitalne regulacije te distribuirano prikupljanje podataka. Ključne prednosti ogledaju se na unaprijeđeno rukovanje, jednostavnije podešavanje parametra i slijedu funkcija te pametnijem korištenju brodskih sustava, što rezultira većom pouzdanošću. Sljedeći korak koji nudi posebne prednosti je analiza stanja. Ovaj aspekt je posebno važan za dijelove motora koji su podležni trošenju. Također računalni sustavi koriste se u nadzornim mehanizmima kako bi se procjenila ekonomska efikasnost, kao i za analizu stanja. Oni također igraju ulogu u izračunima stabilnosti, čvrstoće, planiranju utovara tereta, popisu posade itd.



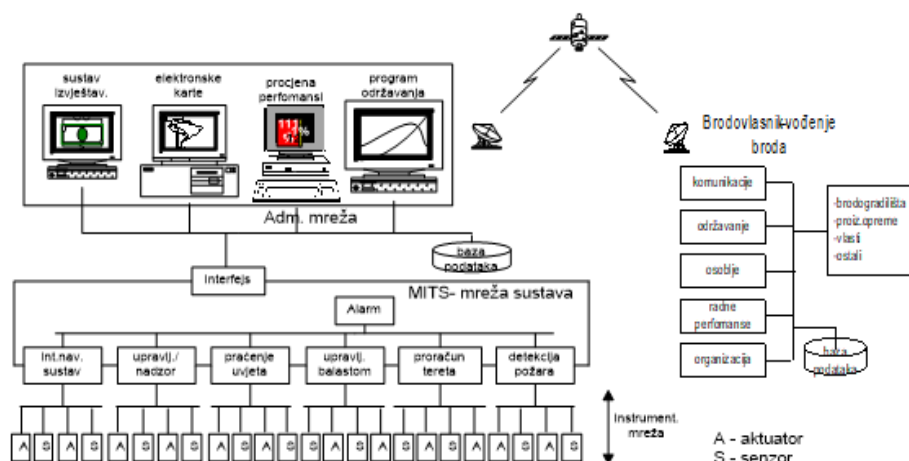
eksploatacije. Pomoću „trackball“-a i funkcionalnih tipki unutar prozora grafičkih sučelja, korisnikova interakcija postaje jednostavna. Mogućnost direktnog ulaska u algoritam znatno olakšava razumijevanje i upravljanje cijelim procesom. Kroz intuitivnu hijerarhiju radnog modela, korisnici primaju sve smjernice potrebne za kontrolu nad postupkom.

- Integracija pojedinačnih sistema u jedan cjeloviti sistem. Kroz upotrebu serijskih veza, odvojeni sustavi kao što su separatori, teretni sustavi, klimatizacija itd. povezuju se u cjelokupni sistem, što omogućava daljinsko upravljanje i nadzor iz radne prostorije.

## Četvrta generacija

Pokazuje razlike u odnosu na treću generaciju, budući da je potpuno integrirano 100% sistemsko rješenje i inačica treće generacije, u kojoj se operacije isključivo izvršavaju na lokalnim monitorima. Prednosti četvrte faze automatizacije broda u odnosu na treću su sljedeće:

- Izvanredna kvaliteta proizvoda i visoka korisnost sistema
- Detekcija problema uz brzu pomoć putem pomoćne funkcije. Ako se pojavi problem u sistemu, problematika bi trebala biti jasno i jednostavno prikazana. Pomoćna funkcija pruža dodatne informacije korisniku i nudi jasne smjernice za rješavanje problema. To pomaže izbjeći dugotrajno traženje kvara, što skraćuje vrijeme održavanja.
- Lakše održavanje zamjenom modula
- Proširena memorija za podatke i procjene. Omogućava bolje analize i produžuje interval održavanja.
- Koncept otvorenosti. Otvorenost se odnosi na strukturu otvorenih podataka, što omogućava upotrebu informacija iz sistema za upravljanje i nadzor u drugim programima i računalnim sistemima. Olakšan rad uz dobro osmišljeno sučelje operator-stroj. [1,2]



Slika 4. Četvrta generacija brodske automatizacije

Izvor: Tomas V. 2021. Autorizirani materijali s predavanja, „Računalno upravljanje brodskim sustavima“, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, Hrvatska

## **2.2. KLASE AUTOMATIZACIJE**

Ovaj pravilnik za tehnički nadzor brodova odnosi se na uređaje automatizacije postavljene na plovilima, kojima se uz osnovnu identifikaciju stroja, dodaje dodatna identifikacija automatizacije s nazivima AUT1, AUT2 i AUT3, ova odredba vrijedi i za plovila sa sistemom daljinskog automatskog upravljanja primarnim pogonskim strojevima i brodskim propelerskim uređajima, koji nemaju navedene nikakve oznake automatizacije.

### **AUT1**

Odnosi se na brodove na kojima je predviđena strojarnica bez nadzora i sa stalnom službom na središnjem mjestu upravljanja.

### **AUT2**

Odnosi se na brodove na kojima je predviđena strojarnica bez nadzora i bez stalne službe na središnjem mjestu upravljanja

### **AUT3**

Odnosi se na brodove koji ispunjavaju uvjete za AUT1, ali ispunjavaju još i neke dodatne uvjete

- Za brodove na nuklearni ili električni pogon stupanj automatizacije za pojedinu oznaku automatizacije određuje se po dogovoru, u skladu sa zahtjevima Registra brodova. [4]

### **3. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV BRODA**

Električna snaga na brodovima proizvodi se korištenjem dizelskih generatora, te u slučajevima ako postoji, putem osovinskog generatora koji je pokrenut pomoću glavnog stroja. Određeni brodovi sadrže generatore koji se pokreću parnom turbinom, koristeći paru dobivenu iz ispušnih plinova. Kako bi osigurali zaštitu, potrebno je imati minimalno dva ili tri pomoćna motora, osiguravajući tako da barem jedan od njih može osigurati električnu energiju u slučaju kvara ostalih. Centralna upravljačka postaja sadrži osnovni distribucijski ormarić. Sa ovog mjesta generatori se mogu upaliti, sinkronizirati i povezati sa glavnom sabirnicom, glavnim energetskim sustavom cijelog broda. Trofazni naponi pružaju napajanje od 440 V i 60 Hz, ili 380 V i 50 Hz. Pomoćni generatori djeluju u paraleli dok je plovilo usidreno ili u stanju mirovanja na otvorenom moru, u slučaju ako su parna turbina ili osovinski generator u kvaru. Prilikom navigacije, određeni brodovi s osovinskim generatorom koriste pomoćne generatore kao primarni izvor energije, dok se osovinski generator koristi za izravno pokretanje pramčanih i krmenih propelera.

U obalnim vodama i kanalima, brod se obično oslanja isključivo na pomoćne generatore, u skladu sigurnosnih mjera. U slučaju da osovinski generator ili parna turbina prestanu iz nekog razloga raditi, pomoćni motori preuzimaju opterećenje. Ako i pomoćni motori zakažu, aktivira se rezervni generator ili generator za hitne slučajeve. Ovaj generator osigurava struju samo za najbitnije dijelove broda, kao što je rasvjeta, protok zraka itd. Za pokretanje generatora za nužde koriste se akumulatorske baterije ili ručni kompresor. Ostatak akumulatorskih baterija od 24 V služe za napajanje sigurnosne mreže na koju se spaja rasvjeta, komunikacijski uređaji, alarmni sustav, sustav automatike itd. Na većim brodovima za prijevoz putnika, u izvanrednim situacijama, akumulatori imaju mogućnost napajanja istosmjernih mreža od 110 V ili 220 V putem posebnih transformatora.

#### **3.1. NAPONSKE RAZINE ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA BRODA**

Pri odabiru napona za brodsku električnu mrežu, ključnu ulogu igra veličina elektroenergetskog sustava, odnosno ukupna snaga instaliranih uređaja koja utječe na struju kratkog spoja, što je jedan od najbitnijih čimbenika kod projektiranja i dimenzioniranja prekidača i zaštitnih sustava, ne samo na brodu, već općenito. I dalje se na brodovima koristi najčešće trofazni izmjenični napon od 440 V i 60 Hz, dok se slabije koriste naponi od 380V i 50 Hz.

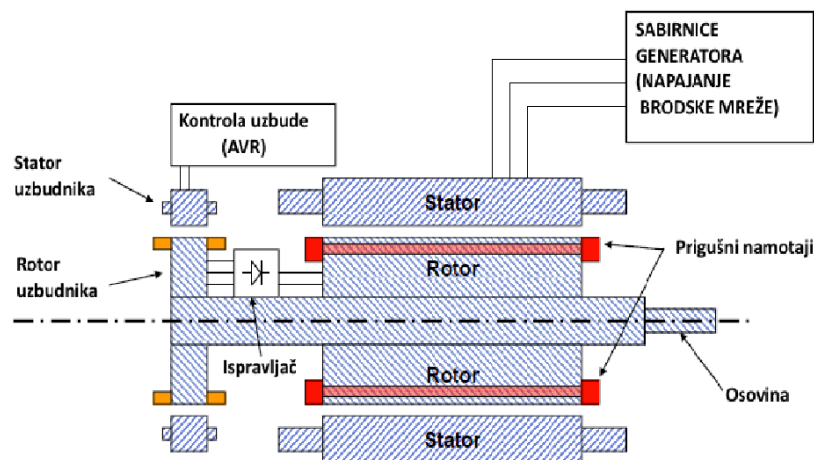
S povećanjima snage instalacija i izgradnjom tehnički kompleksnijih brodova, naginje se prema primjeni visokog napona. Standardni naponi pri frekvenciji od 60Hz uključuju naponske razine od 3,3 kV, 6,6 kV i 11 kV. Glavni razlog korištenja visokog napona je smanjenje struje kratkog spoja kod nižih napona. S time je i smanjena potreba za skupljim prekidačima. Opet, visoki napon uz manju struju kratkog spoja smanjuje i dimenzije kabela i komponenti električne opreme te su manji gubici u bakru.

## 3.2. IZVORI IZMJENIČNOG NAPAJANJA

### 3.2.1. Dizel generatori

Sinkroni generator koji se pokreće putem dizelskog motora predstavlja najčešći izvor energije na brodovima. Trenutno, na brodskim generatorima često se koriste srednjebrzinski ili visokobrzinski dizelski motori. Ova preferencija proizlazi iz činjenice da su takvi motori manjih dimenzija i ekonomičniji u odnosu na sporobrzinske motore iste snage, koji se često koriste kod direktnog osovinskog prijenosa snage. Dizel motori i generatori imaju osovine obično spojene izravno, bez posredovanja reduktora. Prednosti dizel motora kao pogonskog izvora za generatore uključuju brzu odzivnost pri pokretanju, mogućnost precizne regulacije brzine i visoku efikasnost.

Međutim, važno je napomenuti da postoje i određeni nedostaci. Naime, zbog elastičnosti osovina dolazi do njihanja energije i stvaranja vibracija. Također, prisutan je i neujednačeni moment, koji postaje izraženiji kod motora s manjim brojem cilindara. Da bi se umanjile ove elektromehaničke oscilacije uzrokovane navedenim problemima, često se koristi prigušni namot na samom generatoru.



Slika 5. Presjek generatora s nezavisnom uzbuđom

*Izvor: Cuculić A., Autorizirana predavanja iz predmeta „Brodski električni sustavi“. Pomorski fakultet u rijeci.*

Brzina vrtnje dizel motora određuje se frekvencijom i brojem pari polova generatora kojeg se koristi.

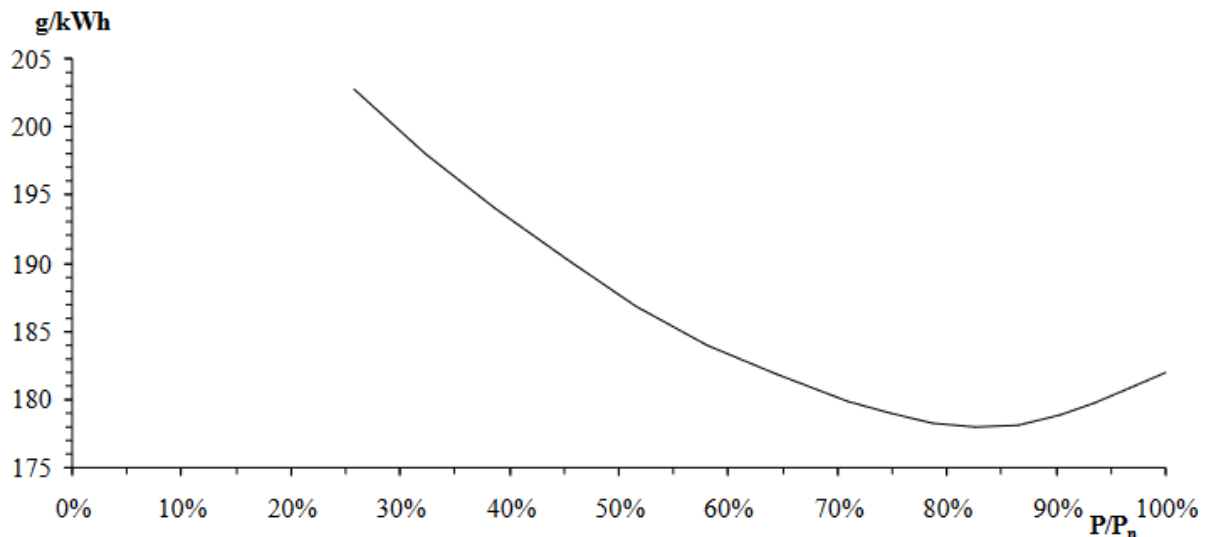
$$n = \frac{60 \times f}{p}$$

Gdje je:

$n$  - brzina dizel motora

$f$  – frekvencija na generatoru

$p$  – broj pari polova na generatoru



Slika 6. Krivulja potrošnje goriva dizel motora

izvor: Vučetić D., „Brodski električni sustavi“ Sveučilište u rijeci, Pomorski fakultet, 2015.

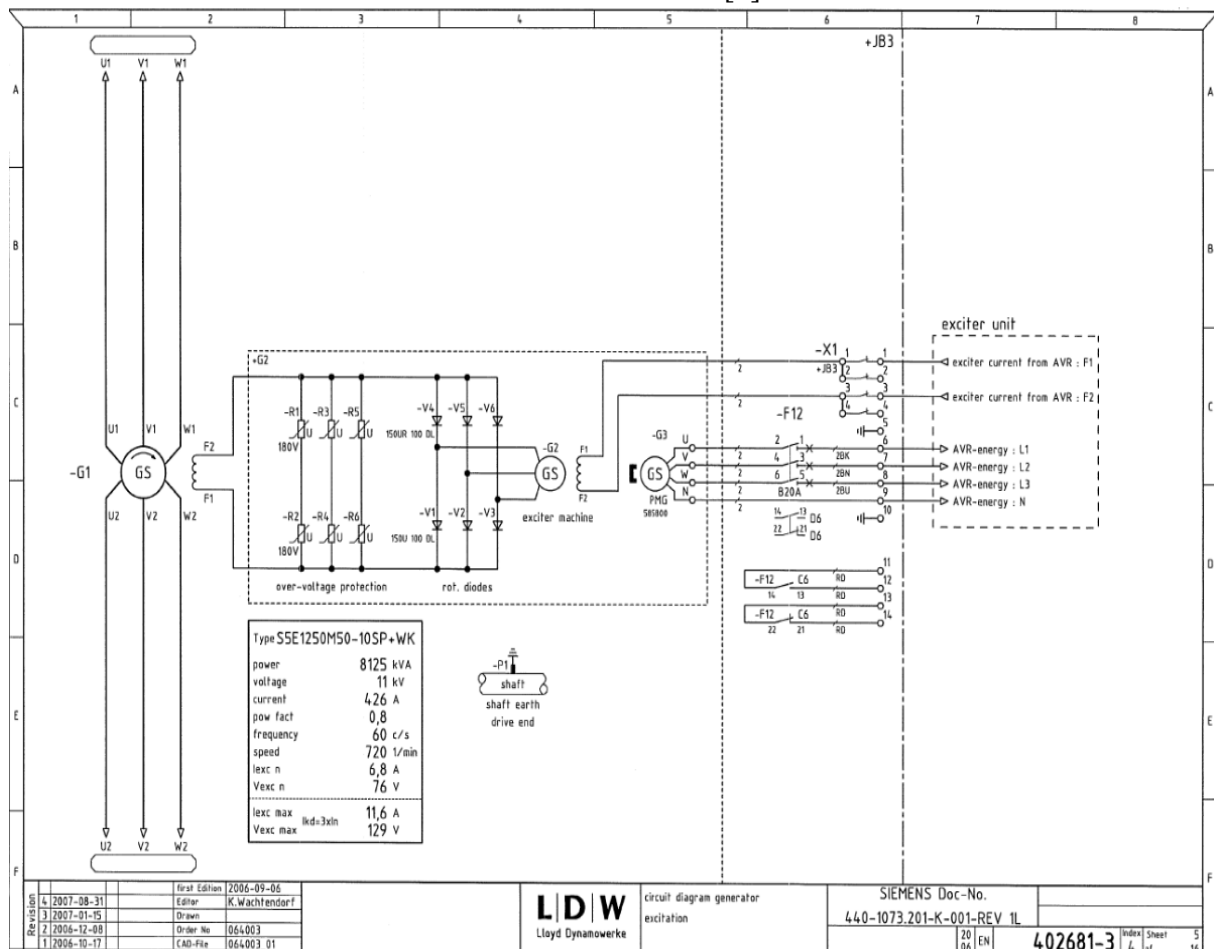
Suvremeni dizelski motori efikasno iskorištavaju približno 40% energetske vrijednosti sadržane u gorivu. Ova iznimno visoka iskoristivost postavlja ih u prednost u usporedbi s drugim toplinskim strojevima. Međutim, efikasnost dizelskih motora značajno ovisi o opterećenju, te se brzo smanjuje ako opterećenje padne ispod 50% nazivne snage. Ovo se jasno može uočiti iz dijagrama specifične potrošnje goriva prikazanog na slici. Kada motor radi pri niskom opterećenju, proces izgaranja goriva nije potpuni, što može rezultirati stvaranjem čađe te emisijom štetnih spojeva poput sumpornih (SO<sub>x</sub>) i dušičnih (NO<sub>x</sub>) spojeva. To dovodi do povećane emisije štetnih plinova i zahtijeva češće održavanje motora.

Zbog ovih čimbenika, iznimno je važno optimizirati sustav proizvodnje električne energije na brodu. Bilo da su generatori samostalni ili povezani u paralelu, cilj je osigurati da generatori rade u području optimalne iskoristivosti tijekom svih faza rada broda. Ovo područje optimalnog opterećenja obično se nalazi između 60% i 90% nazivne snage. Postizanje ove optimizacije



obično se planira tijekom projektiranja, kada se izrađuje bilanca snage. Ova optimizacija se lakše postiže kroz korištenje većeg broja generatora manjih snaga. Važno je napomenuti da, iako to može rezultirati većom učinkovitošću, postoji niz dodatnih troškova poput instalacije, održavanja te potrebe za više nezavisnih sustava regulacije. Također, manji generatori obično imaju nižu razinu iskoristivosti.

U trgovačkom brodarstvu, optimalan broj generatora obično se kreće između dva do četiri. Međutim, kod brodova koji koriste električnu propulziju, taj broj može biti i veći, često između četiri i šest. [5]



Slika 7. Električna shema sinkronog generatora s nezavisnom uzбудom

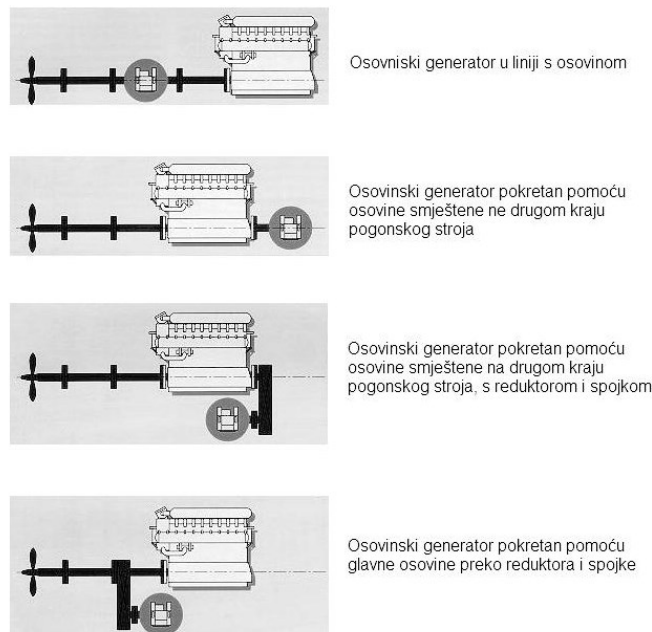
Izvor: : Cuculić A., *Autorizirana predavanja iz predmeta „Brodski električni sustavi“*. Pomorski fakultet u rijeci.

### 3.2.2. Osovinski generatori

Osovinski generatori (Shaft generatori) predstavljaju uređaje za proizvodnju električne energije koji se ne oslanjaju na vlastiti pokretački pogon. Umjesto toga oni su povezani s glavnim pogonskim strojem. Namjena integracije ovakvih generatora na osovину glavnog pogonskog stroja jest smanjenje troškova proizvodnje električne energije na plovilima.

U prošlosti skoro pa svi brodovi koristili su dizelsko gorivo za pomoćne motore, najveća financijska korist proizlazila je iz razlike u cijenama između dizelskog goriva (DO) i teškog dizelskog goriva (HFO). Međutim, s povećanim korištenjem pomoćnih motora na teško dizelsko gorivo, praksa korištenja osovinskih generatora se smanjila. Ovo je dovelo do zanemarivanja drugih pozitivnih aspekata osovinskih generatora, poput smanjenja troškova održavanja pomoćnih motora zbog manjeg godišnjeg broja sati rada (koriste se samo kad osovinski generator nije u funkciji) i veći stupanj korisnosti glavnog porivnog stroja od stupnja korisnosti pomoćnih motora.

Osovinski generator donosi i mogućnost generiranja velike količine energije bez potrebe za drugim pokretačkim uređajima, posebno kad nije potrebno ostvarivanje pogona. To omogućuje pretvaranje čitave snage glavnog pogonskog stroja u električnu energiju za napajanje različitih uređaja kao što su rashladni kompresori ili teretne pumpe. Kao posljedica toga, postiže se jednostavnija i brodska električna centrala.



Slika 8. Osovinski generator smješten na različitim pozicijama

Izvor: : Cuculić A., *Autorizirana predavanja iz predmeta „Brodski električni sustavi“*. Pomorski fakultet u rijeci.

Kod porivnih srednjohodnih motora osovinski generatori ugrađuju se na osovinski vod direktno, na reduktor propulzije ili na stražnji dio motora. Kod sporohodnih motora ovi generatori se postavljaju na stražnji dio motora putem uređaja za povećanje broja okretaja zvanog multiplikator (također nazivan "reduktor" za povećanje brzine), ili rijetko, izravno na stražnji dio motora. No, postoji izazov kada su u pitanju generatori koji operiraju pri niskim brzinama okretanja. Oni zahtijevaju velik promjer kako bi stvorili dovoljno visoku obodnu brzinu potrebnu za induciranje električnog napona. Također, treba im veliki broj magnetskih polova kako bi generirali frekvenciju od 60Hz.

Primjerice, zamislimo osovinski generator spojen izravno na sporohodni dizelski motor koji se okreće brzinom od 120 okretaja u minuti. Da bi se postigla standardna frekvencija od 60Hz, generator bi morao imati čak 60 magnetskih polova. No, ovi sporohodni generatori su skupi i nepraktično veliki, pa su češće u uporabi varijante s manjim i bržim generatorima. Ovi generatori manjeg promjera često zahtijevaju upotrebu multiplikatora kako bi se postigle potrebne brzine i naprezanja.

Primarni problemi koji se susreću kod osovinskih generatora odnose se na održavanje konstantne frekvencije električne mreže na brodu, posebice kada se koriste različite veličine pogona. Ovaj problem proizlazi iz činjenice da se, kada je generator izravno spojen na glavni pogonski mehanizam, promjenom brzine okretaja broskog propelera mijenja brzina osovinskog generatora. Što dalje utječe na frekvenciju generiranog električnog napona. Postoje četiri različita pristupa u rješavanju ovog problema, tj. četiri različite kategorije osovinskih generatora:

- Osovinski generator s brodskim vijkom s prekretnim krilima (CPP)
- Osovinski generator spojen na glavni motor preko varijatora na brodu s brodskim vijkom s fiksnim krilima
- Osovinski generator koji je spojen na brodsku mrežu preko pretvarača frekvencije na brodu s brodskim vijkom s fiksnim krilima
- Osovinski generator s asinkronim kolutnim generatorom (više se ne koriste). [5]

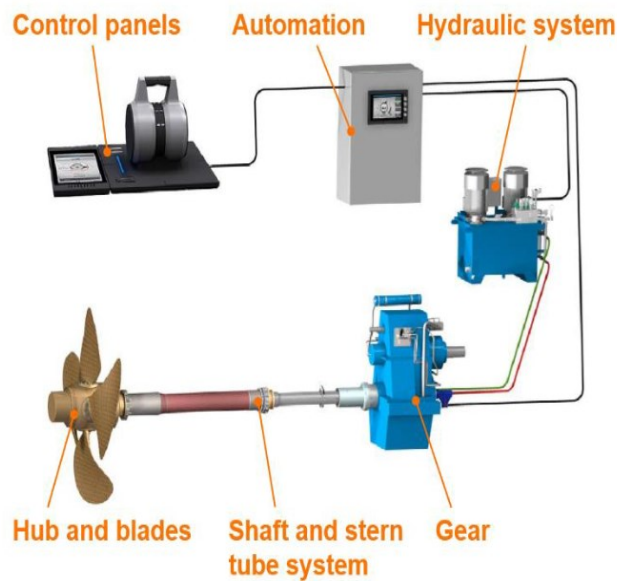
### *3.2.2.1. Osovinski generator sa brodskim vijkom s prekretnim krilima (CPP)*

Ovo je jedna od najstarijih izvedba osovinskih generatora za izmjenične struje. Koriste se na brodovima koji imaju brodske vijke sa prekretnim krilima (CPP) zbog boljih karakteristika manevriranja i zbog manje potrošnje goriva. Sinkroni generator se spaja direktno ili preko reduktora, tojest multiplikatora, na osovinu glavnog pogonskog stroja. Nakon odabira režima rada regulator broja okretaja se blokira na zadanim okretajima te ih održava konstantnim.

Tokom rada generatora poriv se može promijeniti promjenom koraka vijka. Postoji mogućnost i vožnje unatrag postavljanjem negativnog koraka na vijku.

U uvjetima zahtjevnog mora, kada postoji potencijalna opasnost od izrona broskog vijka iz vode, potrebno je deaktivirati osovinski generator i smanjiti brzinu rada motora. To je zato što

porivni motor, kada je u režimu rada kao osovinski generator, konstantno radi gotovo na najvišem mogućem broju okretaja. U slučaju da bi se vijak broda izvukao iz vode uslijed valova ili drugih čimbenika, došlo bi do naglog smanjenja otpora, što bi rezultiralo brzim ubrzanjem. To ubrzanje nije moguće pravovremeno kompenzirati putem regulatora okretaja smanjenjem goriva. Kao rezultat toga, brzina bi premašila sigurnosni limit definiran zaštiti od prekomjerne brzine (OVER SPEED), što bi izazvalo automatsko isključenje motora radi zaštite. Naravno, isto bi se dogodilo i s osovinskim generatorom, što bi rezultiralo situacijom u kojoj bi se brod našao u zahtjevnim morskim uvjetima bez pogona i električne energije (potpuni nestanak napajanja, blackout). [5]



Slika 9. Osovinski generator sa brodskim vijkom s prekretnim krilima (CPP)

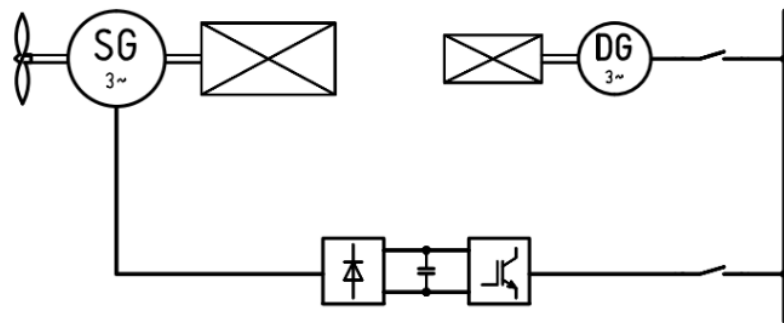
Izvor: : Cuculić A., *Autorizirana predavanja iz predmeta „Brodski električni sustavi“*. Pomorski fakultet u rijeci.

### 3.2.2.2. Osovinski generator spojen preko varijatora

Varijator je vrsta uređaja koja osigurava očuvanje konstantnog broja okretaja na izlaznoj osovini, čak i kada se mijenja brzina na njegovoj ulaznoj osovini. Ovaj uređaj je posebno važan kada se koristi u kombinaciji s osovinskim generatorom. Integracija osovinskog generatora putem varijabilnog uređaja omogućuje plovila da održavaju stabilne performanse unutar raspona od 70% do 100% nominalne brzine glavnog pogonskog mehanizma. [5]

### 3.2.2.3 Osovinski generator sa statičkim pretvaračem frekvencije

Ovo predstavlja najnoviju interpretaciju osovinskog generatora. Generator je povezan s osovinom glavnog stroja direktno ili putem uređaja za smanjenje brzine (reduktora ili multiplikatora), što znači da se, kada se mijenja broj okretaja broskog vijka (FPP), mijenja i generirana frekvencija generatora. Električno povezivanje generatora s mrežom ostvaruje se preko statičkog pretvarača frekvencije, koji na izlazu održava konstantnu frekvenciju i napon. Zbog svoje elektroničke prirode, ovaj uređaj omogućuje da promjene brzine okretaja glavnog pogonskog stroja nemaju nikakav utjecaj na stabilnost napona i frekvencije mreže. [6]



Slika 10. Osovinski generator sa statičkim pretvaračem frekvencije

Izvor: : Cuculić A., *Autorizirana predavanja iz predmeta „Brodski električni sustavi“*. Pomorski fakultet u rijeci.

### 3.2.3. Turbo generatori

Uz tradicionalne dizelske motore, brodski generatori mogu se pokretati i parnim ili plinskim turbinama. Na brodovima se često primjenjuju tzv. sustavi s izravnom proizvodnjom energije iz ispušnih plinova glavnih dizelskih motora. Ovisno o tipu dizelskog motora i njegovoj efikasnosti, takvi sustavi omogućuju generiranje električne energije u rasponu od 5% do 13% ukupne snage, značajno povećavajući iskoristivost motora.

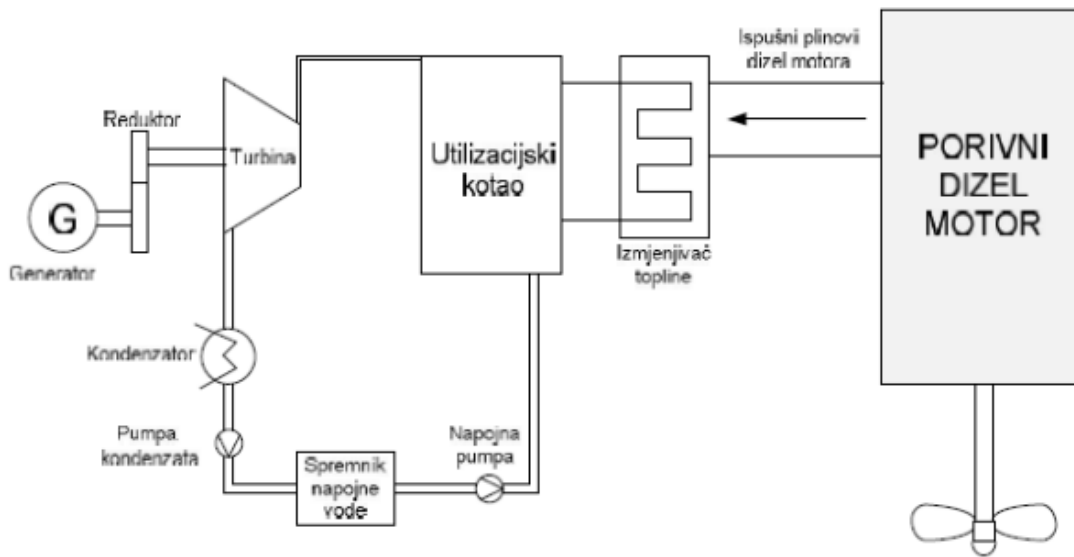
Parne turbine:

- Loša korisnost 23%-27%
- Potrebno predgrijavanje što zadaje sporu uspostavu pogona
- Zahtjeva reduktor zbog brzine okretaja
- Lako održavanje

Plinske turbine:

- Velika snaga

- Loša korisnost 27%-29%
- Relativno brzo se puštaju u pogon
- Veliki broj okretaja, zahtjeva reduktor [7]



Slika 11. Blok shema postrojenja s turbogeneratorom.

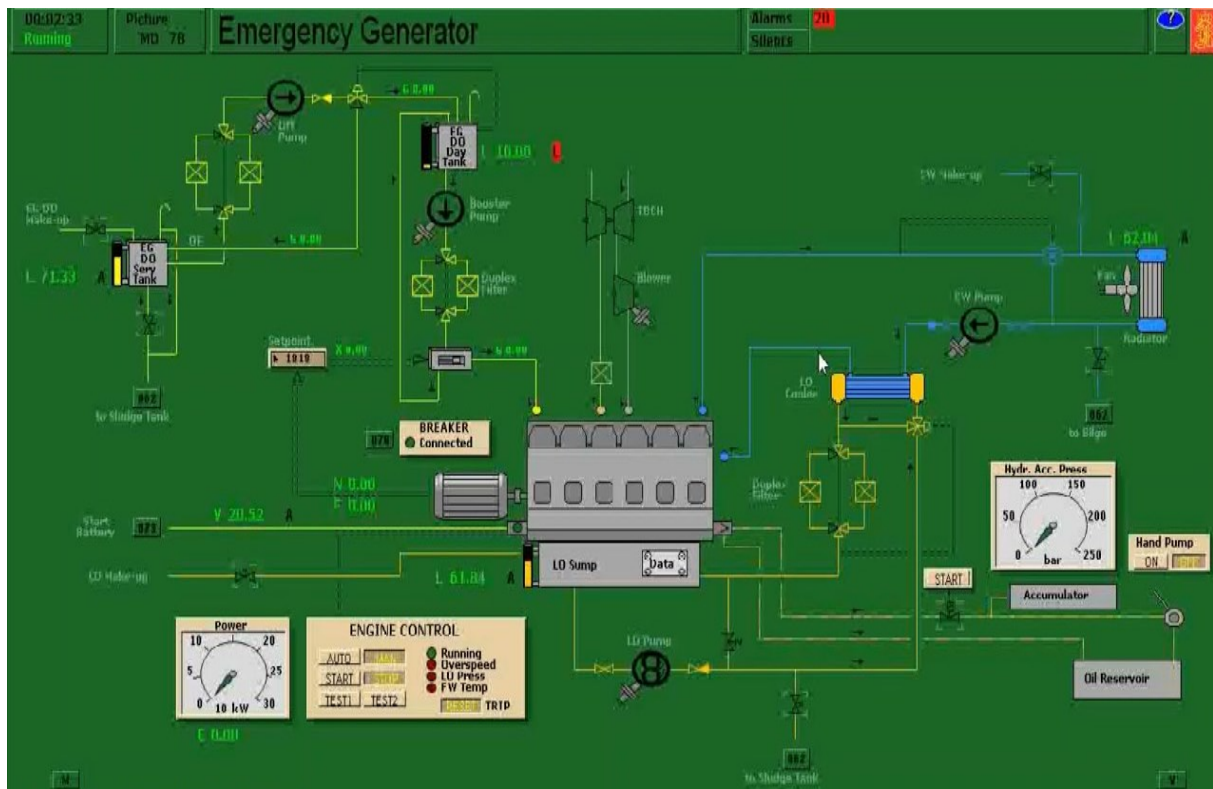
Izvor: Emes D., „Elektroenergetski sustav broda“ Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2017.

### 3.2.4. Generator za nužnost

Dizel generatori se i u ovoj situaciji koriste kod generatora za nužne situacije (emergency generator). Smješten je u gornjem dijelu broda, nadgrađu, blizu ploče koja je predviđena za takve situacije (ploča za nužnost). Automatski se aktivira kada dođe do pada napona na glavnoj rasklopnj ploči.

Pored osnovnog automatiziranog sustava za pokretanje koji koristi električni starter, pneumatski motor ili pokretanje komprimiranim zrakom, postoji i rezervni mehanizam za ručno pokretanje. Ova alternativna opcija uvijek mora biti podešena na automatsku kontrolu.

Opremljen je za napajanje uobičajenih potrošača kao što su nužno osvjetljenje, svjetla za određivanje položaja, navigacijska svjetla i svjetlosni signali, radio i oprema za navigaciju, unutarnji komunikacijski sustavi, sustavi za gašenje požara, mehanizam za upravljanje kormilom, neophodne pumpe unutar strojarnice, dizala i još mnogo toga. [6]



Slika 12. Shematski prikaz generatora za nužnost u Kongsberg simulatoru

*Izvor: Kongsbergs Maritime Simulator*

### 3.2.5. Napajanje s kopna

Kada brod zauzme poziciju u suhom doku, glavni generatori, koji obično koriste morsku vodu za hlađenje, više nisu operativni. Zato je najpraktičnija strategija povezati brod na električnu mrežu kopna radi napajanja. Ovaj proces slijedi određene korake:

- Postupno isključiti sve uređaje koji troše energiju.
- Ručno prebaciti kontrolu sa automatskog na ručni režim u glavnoj kontrolnoj centrali.
- Isključiti prekidač za generatore.
- Onemogućiti startni mehanizam dizelskog generatora; priključiti kabel koji dolazi s kopna na odgovarajuće mjesto na brodu (glavna distribucijska ploča, nužna distribucijska ploča ili priključna kutija na palubi).
- Temeljito provjeriti frekvenciju, napon i redoslijed faza električnog napajanja.
- Aktivirati prekidač za povezivanje s kopnom elektroenergetskom mrežom. [7]

## 3.3. IZVORI ISTOSMJERNOG NAPONA

### 3.3.1. Akumulatorske baterije

**Princip rada i sastav baterije:** Baterije predstavljaju reverzibilne izvore električne energije. Energija se unosi u sustav s brodske mreže putem punjača, a zatim se pohranjuje zahvaljujući kemijskom procesu. U fazi punjenja električna energija se transformira u kemijsku energiju, dok pri pražnjenju teče obrnuti proces. Kapacitet akumulatorske baterije izražava se u amper-satima (Ah). Baterija s kapacitetom od 100Ah sposobna je isporučiti struju od 10 ampera tijekom 10 sati kontinuirane uporabe. Nazivni napon baterije ovisi o broju pojedinačnih ćelija. Postoji razlikovanje između olovno-kiselinskih i nikal-kadmijevih akumulatora na temelju vrste kemijskog procesa koji se odvija unutar njih.

**Punjenje i pražnjenje baterija:** Baterije se pune preko punjača. Uobičajeni napon punjenja olovnih akumulatora iznosi 2,4 volti po pojedinačnoj ćeliji. No, suvremeni punjači su fleksibilni te prilagođavaju napon punjenja prema trenutnom nivou napunjenosti akumulatora i temperaturi okoline. Ova prilagodba ima koristi kao što su ubrzanje procesa punjenja, produženje ukupnog životnog vijeka akumulatora te smanjenje potrebe za redovitim održavanjem, što znači manji gubitak elektrolita. Bitno je zadržati temperaturu elektrolita ispod 45°C tokom faze punjenja.

Baterije se pune cijelo vrijeme dok je brodska mreža aktivna, dok se tokom pražnjenja koriste za povezane uređaje kada izvori napajanja sa mreže nisu dostupni.

#### Održavanje baterija:

- Obavezno je korištenje zaštitnih naočala, gumene rukavice i radnu odjeću
- Kontrola gustoće elektrolita i po potrebi nadolijevanje destilirane vode
- Površina baterija mora se održavati čistom
- Provjera čvrstoće klema, premaz klema posebnim mastima da nebi došlo do oksidacije kontakata
- Izmjena istrošenih baterija

Baterije se smještaju u posebnu stanicu koja se naziva akumulatorska ili baterijska stanica koja se mora ventilirati kako bi eksplozivni plinovi mogli nesmetano izaći. Takva stanica na brodu spada pod opasne prostore. Baterije se slažu na police jedne pored drugih, na način da se jednostavno mogu spojiti i da se smanji mogućnost nastanka kratkog spoja. Punjač se mora nalaziti u različitoj prostoriji od baterija. Alkalne i olovne baterije ne smiju biti u istom prostoru.





Slika 13. Primjer baterijske stanice na brodu

*Izvor: Uk p&i club., Tehnical Bulletin“, Number 41 2013. „Baterry romm ventilation and proper upkeep“*

**Primjena baterija na brodu:** Koriste se kao rezervni izvori energije za napajanje određenih strujih krugova koji moraju biti u funkciji i prilikom blackouta. Na to se odnosi dio rasvjete, alarmni sistemi, automatika, komunikacija, ponekad se koriste i za pokretanje generatora u nuždi i pomoćnih motora. [5] [6]

## **4. BRODSKA ELEKTRIČNA CENTRALA**

Ovdje su podaci o električnoj centrali sustava o kojim se raspravlja, odnose se na stvaranje, distribuciju i potrošnju električne energije unutar broda. Kako su uređaji za proizvodnju električne energije opisani u dijelu prije, sadržaj ovog odjeljka se koncentrira na načine kako se proizvedena električna energija širi i koristi unutar broda.

### **4.1. GLAVNA RASKLOPNA PLOČA**

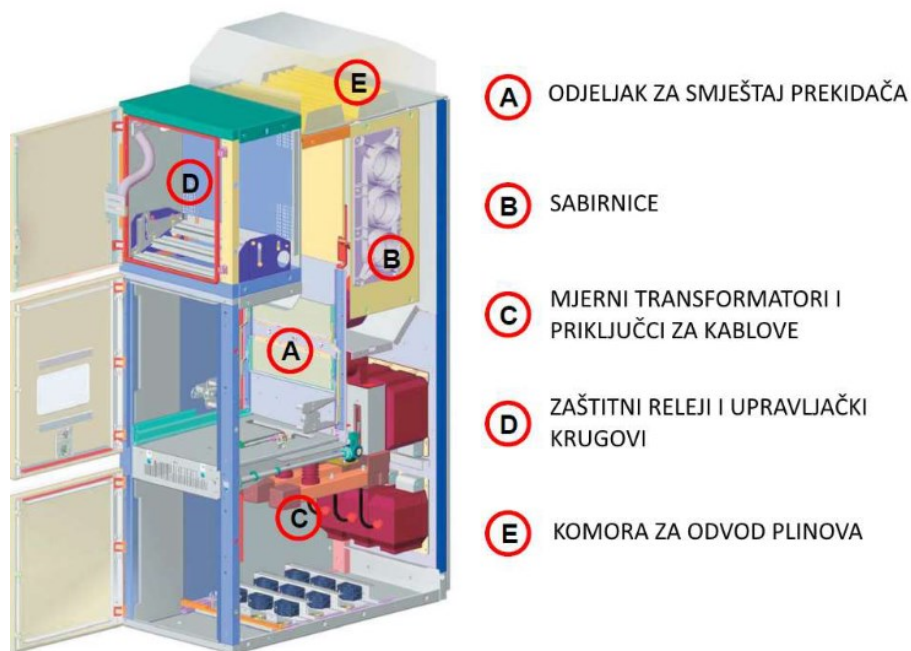
Glavna rasklopna ploča (GRP) predstavlja centralnu točku od koje započinje distribucija električne energije duž broda. GRP se sastoji od sabirnica, prekidačkih uređaja, mjernih instrumenata i uređaja za upravljanje i signalizaciju. Električna energija koja se producira u generatoru dovodi se do glavne rasklopne ploče preko prekidačkih uređaja koji su spojeni na zajedničku sabirnicu te se sa te sabirnice napon dalje distribuira prema potrošačima. Svakom pojedinačnom potrošaču ili skupini potrošača dodatno se ugrađuje odgovarajući prekidač radi zaštite. GRP je segmentirana na više sekcija, uključujući generatorsku sekciju, sekcije potrošača koje su organizirane prema naponu, skupine uređaja koje su grupirane prema tipu potrošača, i odjeljak za usklađivanje, tojest sinkronizaciju generatora.

Glavna rasklopna ploča ima dvije podjele:

- Visokonaponska glavna rasklopna ploča
- Niskonaponska glavna rasklopna ploča

Visokonaponska GRP nalazi se u zasebnom dijelu brodske strojarnice (engleski. Engine Room), a niskonaponska GRP se nalazi u kontrolnoj sobi brodske strojarnice (engleski. Engine Control Room).

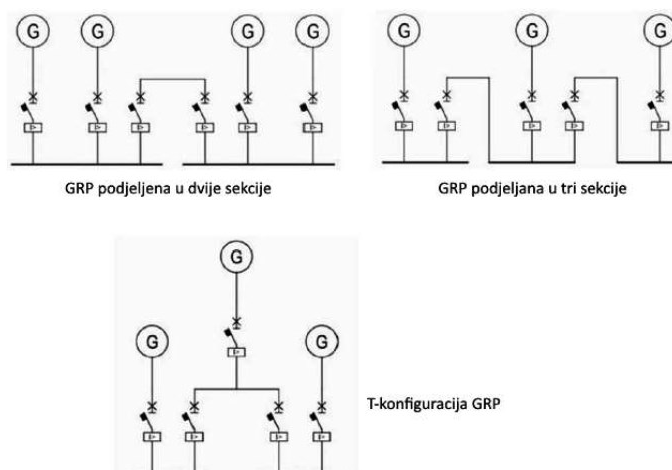
Sva električna trošila na brodu se napajaju preko određenih prekidača izravno ili neizravno preko sabirnice glavne ploče. Visokonaponska trošila se spajaju direktno, dok se niskonaponska trošila spajaju neizravno, najčešće preko transformatora. [8][6]



Slika 14. Polje glavne rasklopne ploče s pripadajućim dijelovima

Izvor: Cuculić, A. (2021), *Brodski električni sustavi, Autorizirani materijali s predavanja*, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, Hrvatska

Glavna rasklopna ploča se dijeli na minimum dvije sekcije s pripadajućim generatorima. Na sljedećoj slici prikazana su moguća rješenja:

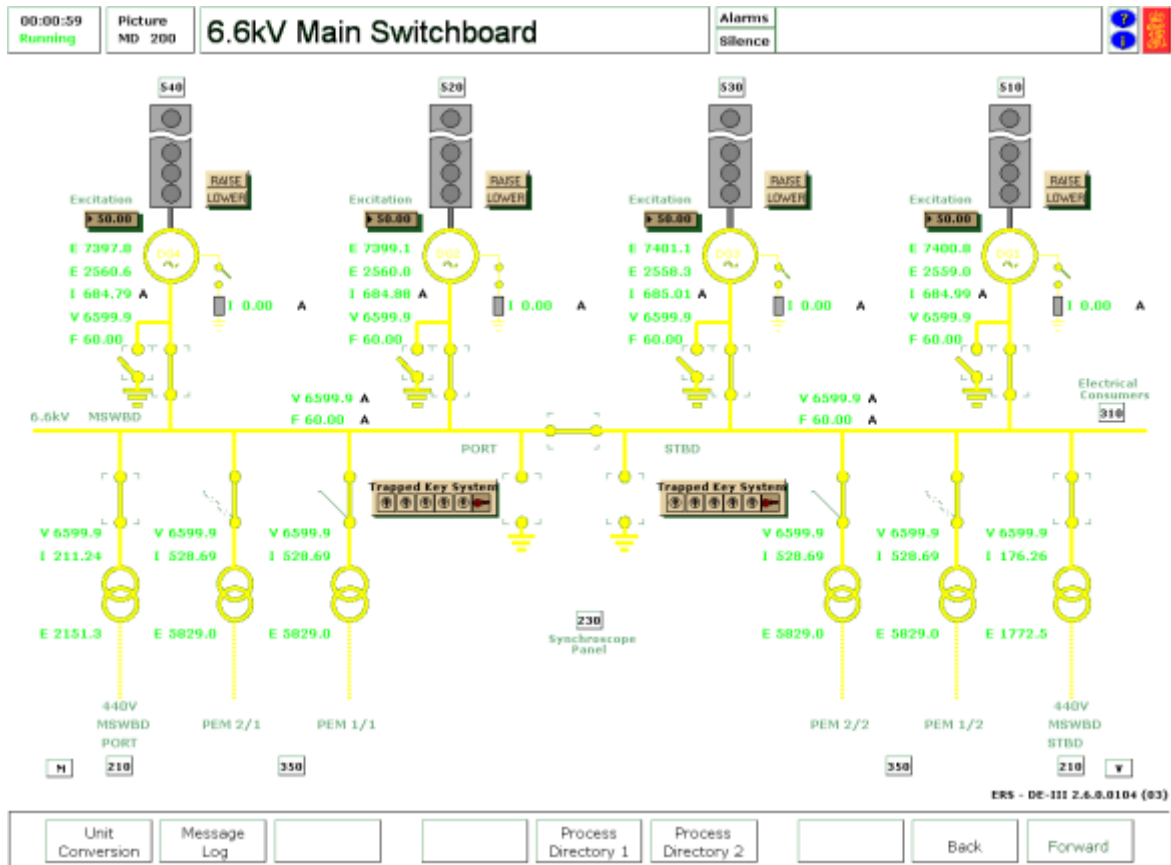


Slika 15. Podjela generatora na sekcije

Izvor: Cuculić, A. (2021), *Brodski električni sustavi, Autorizirani materijali s predavanja*, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, Hrvatska

#### 4.1.1. Visokonaponska glavna rasklopna ploča

Visokonaponska GRP je trofazna ploča koja može imati razine napona od 3,3kV, 6,6kV ili 11kV. U ovoj situaciji prikazat ćemo visokonaponsku rasklopnu ploču putničkog broda od 6.6kV.



Slika 16. Jednopolna shema VN-GRP 6,6kV

Izvor: Assani N., „Brodaska električna centrala putničkih brodova“ Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu, Split, 2018.

Na slici je prikazan spoj različitih izvora električne energije na GRP, organizacija sabirnice i povezivanje većih potrošača s visokonaponskom GRP-om. Kao što je vidljivo na shemi iznad, sabirnica ploče je razdijeljena na dva segmenta koji su međusobno povezani sabirničkom sklopkom za rastavljanje opremljenom s zaštitom od preopterećenja, što omogućuje automatsko isključivanje dijela sustava u slučaju kvara. Svaka strana ploče je opskrbljena sa po dva dizel generatora, a budući da je sabirnička sklopka za rastavljanje u normalnom položaju zatvorena, sustav djeluje kao jedinstvena cjelina.[8]

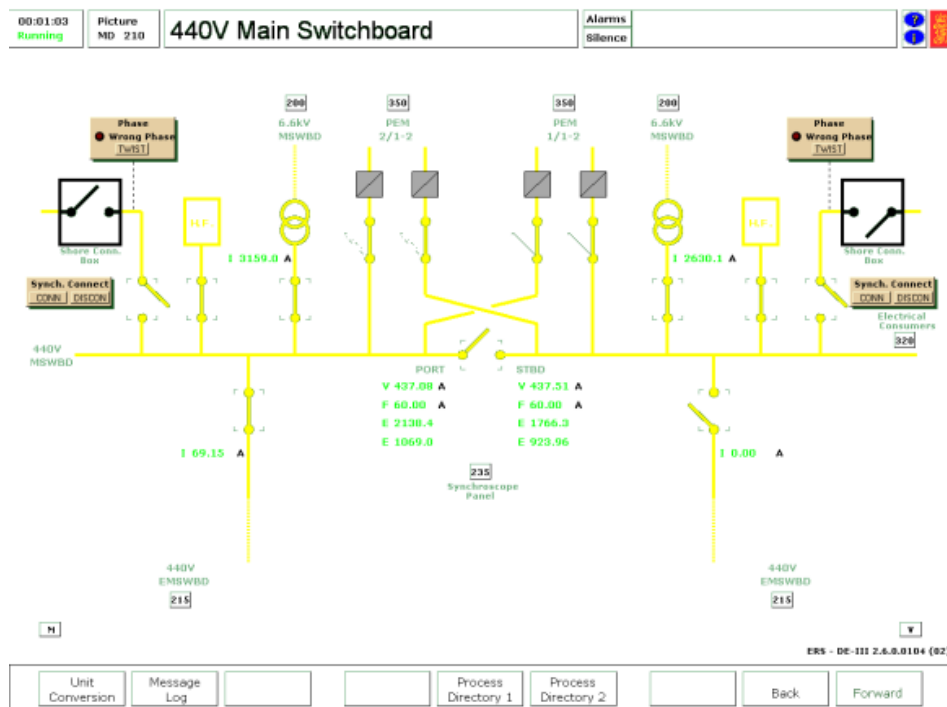
## 4.1.2. Niskonaponska glavna rasklopna ploča

Niskonaponska GRP je trofazna ploča kojoj je izbor napona 440 V. Smještena je u kontrolnoj sobi u strojarnici. Podjeljena je na dva dijela i svaki dio se napaja sa 6,6 kV GRP preko transformatora. Također između dva dijela NN-GRP nalazi se i sabirnička sklopa koja služi za isključivanje jednog dijela ploče prilikom njegovog kvara kako bi drugi dio normalno radio i opskrbljivao potrošače. Kao i sve ostale sklopne ploče NN-GRP sadrži prekidače, upravljačku, signalizacijsku i mjernu opremu.

NN-GRP posjeduje električni ormar za povezivanje s kopnenom električnom mrežom. Ključno je istaknuti da nije moguće uspostaviti vezu s kopnom dok je dio mreže koji želimo napajati već pod naponom. Drugim riječima, nemoguće je usklađivanje, tojest sinkronizacija električnih sustava kopna i broda.

Elektromotori za poriv broda na NN-GRP-u su povezani s upravljačkim krugovima na takav način da je moguće napajati oba elektromotora s objiju strana ploče. Ovo omogućuje održavanje funkcionalnosti pogona čak i u situaciji kada jedna strana izgubi izvor napajanja.

Na NN-GRP-u su instalirani harmonički filtri, po jedan za svaki dio, kako bi se osigurala zaštita električne mreže od izobličenja u obliku harmonika. Ova izobličenja uglavnom proizlaze iz pretvarača u pogonskom sustavu i, teorijski, od svih elektroničkih prekidačkih uređaja.[8]



Slika 17. Jednopolna shema NN-GRP 440V

Izvor: Assani N., „Brodaska električna centrala putničkih brodova“ Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu, Split, 2018.

Primjer trošila koja se napajaju sa NN-GRP 440V:

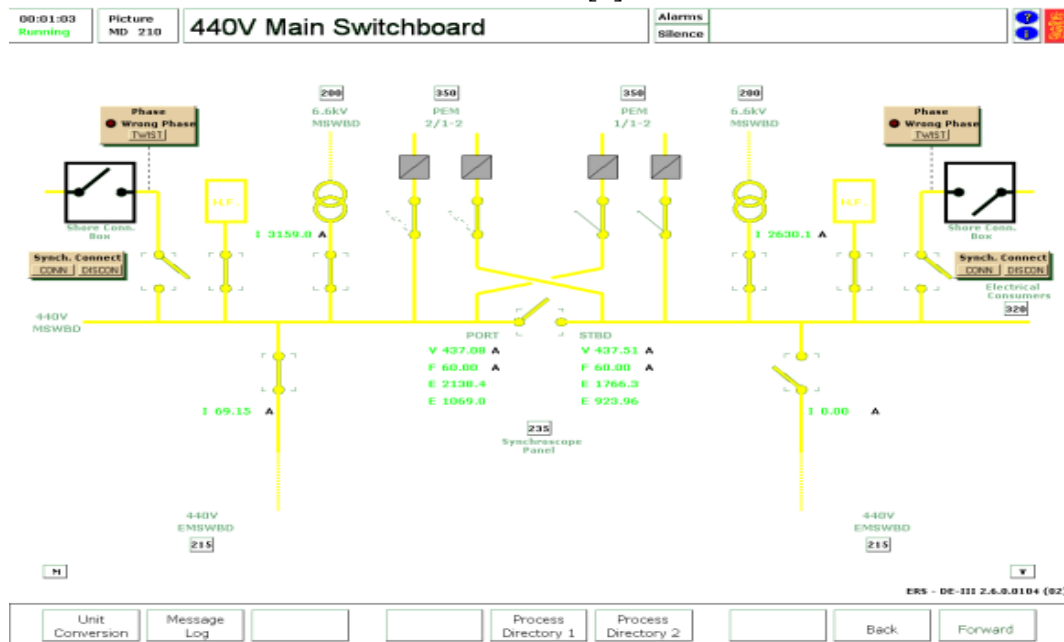
- Kompresori
- Ventilatori strojarnice
- Vitla
- Balastne, požarne i ostale pumpe
- Hladnjaci
- Separatori
- Evaporatori [8]

## 4.2 RASKLOPNA PLOČA ZA NAPAJANJE U NUŽDI

Rasklopna ploča za napajanje u nuždi služi napajanju potrošača koji su važni za sigurnost broda i posade, a to su u prvom redu:

- kormilarski uređaj
- protupožarna, kaljužna i balastna pumpa
- navigacijska i komunikacijska oprema
- navigacijska rasvjeta i rasvjeta za nuždu
- protupožarna centrala i alarmni sustav

U normalnom pogonu, ploča za napajanje u nuždi napaja se sa GRP-a, a kod nestanka napona na GRP-u uslijed kvara ili black-outa napajanje automatski preuzima generator za nužnost. Ploča za napajanje u nuždi mora se nalaziti u istoj prostoriji gdje je smješten i generatora za nužnost. [6]



Slika 18. Jednopolna shema rasklopne ploče za nužda

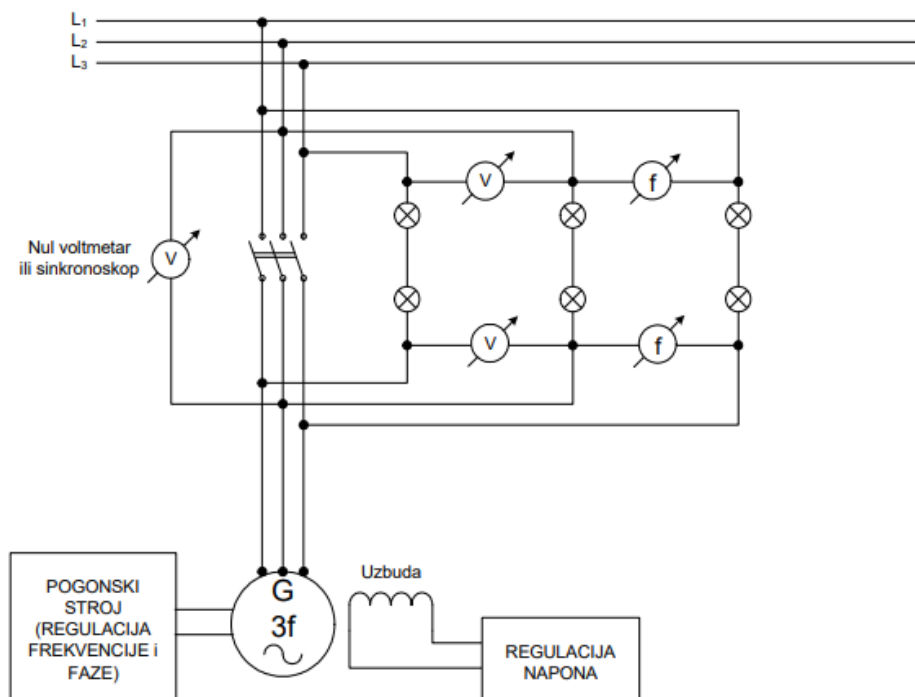
Izvor: Assani N., „Brodaska električna centrala putničkih brodova“ Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu, Split, 2018.

### 4.3 SINKRONIZACIJA GENERATORA

Sinkronizacija je proces povezivanja sinkronog generatora s električnom mrežom tako da se, nakon što su ispunjeni svi potrebni uvjeti, aktivira generatorski prekidač. Svako isključivanje ili uključivanje većih potrošača tijekom sinkronizacije može utjecati na ravnotežu sustava i produljiti vrijeme potrebno za uspješnu sinkronizaciju. Na primjer, ponekad je vrlo teško, ili čak nemoguće, provesti sinkronizaciju dok teretna vitla rade.

Uvjeti koji moraju biti ispunjeni prije nego što se sinkronizira generator na brodsku mrežu uključuju:

- **Usklađenost frekvencije** - Frekvencija generatora (izlazna frekvencija) mora biti vrlo slična frekvenciji mreže. To osigurava da se generator može usklađivati s mrežom bez izazivanja problema u mreži.
- **Usklađenost napona** - Napon generatora (izlazni napon) također mora biti vrlo blizak naponu mreže kako bi se izbjegli problemi pri spajanju.
- **Fazna sinkronizacija** - Faze generatora i mreže moraju biti u faznom skladu. To znači da kutna razlika između faza generatora i mreže treba biti minimalna kako bi se izbjegle prekomjerne struje pri spajanju.
- **Istofaznost napona generatora i brodske mreže** [5]



Slika 19. Principna shema sinkronizacije generatora

Izvor: Vučetić D., „Brodski električni sustavi“ Sveučilište u rijeci, Pomorski fakultet, 2015.

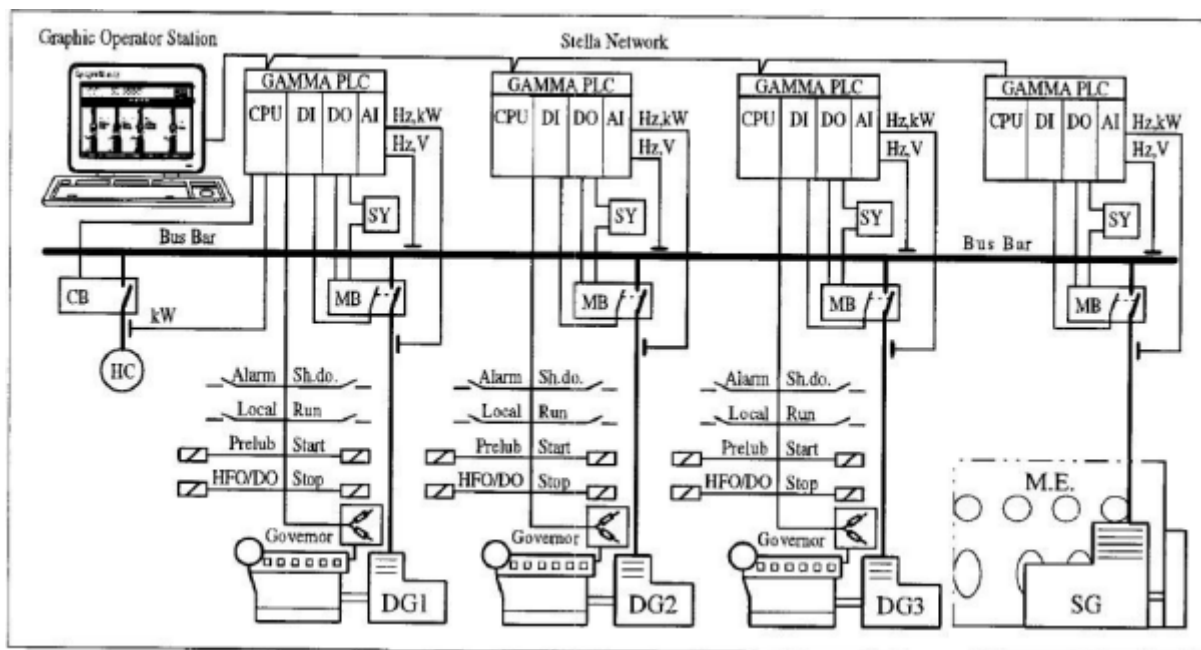
## 5. UPRAVLJANJE BRODSKOM ELEKTRIČNOM CENTRALOM

Upravljanje brodske električne centrale može se vršiti na tri načina:

- Ručno
- Poluautomatsko
- Automatsko

Sustavi za upravljanje električnom energijom nude različite načine rada koji obuhvaćaju funkcionalnosti kao što su pokretanje dizel generatora i njegovo pokretanje nakon nestanka napajanja. Ovi sustavi pružaju mogućnost poluautomatskog upravljanja pod nadzorom operatora ili potpuno automatskog upravljanja brodskom električnom centralom bez ljudske prisutnosti. Prebacivanje između ova dva načina rada jednostavno je izvedivo putem grafičkog operativnog sučelja sustava.

Kod poluautomatskog načina rada, sustav za upravljanje električnom energijom djeluje poput daljinskog upravljača. Automatski kontrolira pokretanje dizel generatora nakon nestanka napajanja, održava frekvenciju, raspodjelu opterećenja, te upravlja pokretanjem i sinkronizacijom dizel generatora, uključujući i isključivanje istog.



Slika 20. PMS 2100 sustav za upravljanje električne energije sa tri dizel generatora i jednim osovinskim generatorom

Izvor: Lyngsø Marine A/S, System Description, Power Management System – PMS 2100

U automatskom modu, sustav za upravljanje električnom energijom izvodi slične funkcije kao i u poluautomatskom načinu rada, ali dodatno je opremljen mogućnošću pokretanja i

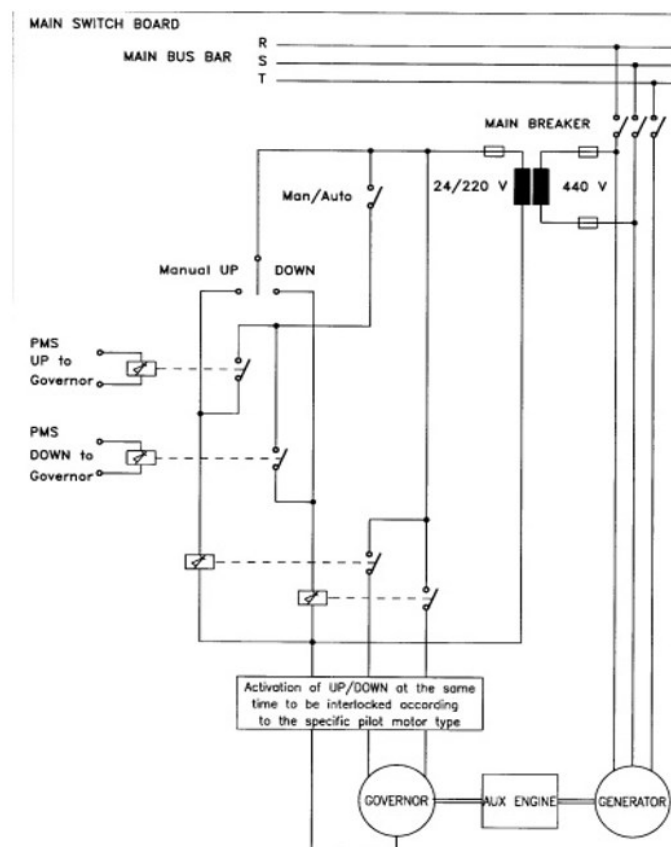


zaustavljanja generatora prema varijacijama opterećenja. Također, ima sposobnost aktiviranja dizelskog generatora u stanju pripravnosti kao reakciju na alarm prije nego što se izvrši isključivanje povezanog dizel generatora, te upravlja velikim potrošačima.

## 5.1. RUČNO UPRAVLJANJE

Sustav ručnog upravljanja brodskom električnom centralom ograničen je na osnovne funkcije, poput pokretanja i zaustavljanja strojeva. Nema sposobnost kontrole proizvodnje i potrošnje električne energije niti izvođenja složenih operacija poput sinkronizacije. U ovom režimu, glavni prekidač upravlja se izravno s glavne rasklopne ploče. Za svaki glavni prekidač unutar te ploče, ručno upravljanje dizelskim motorom može se aktivirati pomoću odgovarajuće ručne sklopke.

Pri ručnom upravljanju, upravljanje pokretanjem i zaustavljanjem pomoćnog stroja može se obavljati putem grafičkog operatorskog sučelja. Način rada nazvan "Diesel starter" omogućuje korisniku ručno pokretanje i zaustavljanje pomoćnog motora preko grafičke operatorske stanice. Osim toga, uključivanje glavne sklopke je također moguće u slučaju automatskog pokretanja nakon prekida napajanja.



Slika 21. PMS 2100 - Ručno/Automatsko upravljanje brojem okretaja

Izvor: Peruško M., „Automatizacija elektoenergetskog sustava broda“ Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2020.

Kada se glavni prekidač prebaci u ručni način rada, sustav upravljanja električnom energijom gubi svoju daljnju kontrolu nad njim. Ručno pokretanje i zaustavljanje pomoćnog motora moguće je izabrati samo kada je odgovarajuća selektivna sklopka za glavni prekidač postavljena u ručni način rada. Ručni način rada i ručno upravljanje imaju najviši prioritet među različitim načinima upravljanja, uključujući ručni, poluautomatski i automatski. Omogućeno je prebacivanje između ručnog i automatskog načina rada bez ometanja rada dizelskog generatora i glavnog prekidača.

## **5.2. POLUAUTOMATSKO UPRAVLJANJE**

Pri poluautomatskom upravljanju, sustav za kontrolu električne energije funkcionira kao udaljena upravljačka postaja (daljinski). Automatski sustavi u poluautomatskom režimu obuhvaćaju aktivaciju nakon gubitka napajanja, regulaciju frekvencije, preraspodjelu opterećenja te pokretanje i usklađivanje rada dizel generatora, kao i deaktivaciju dizel generatora.

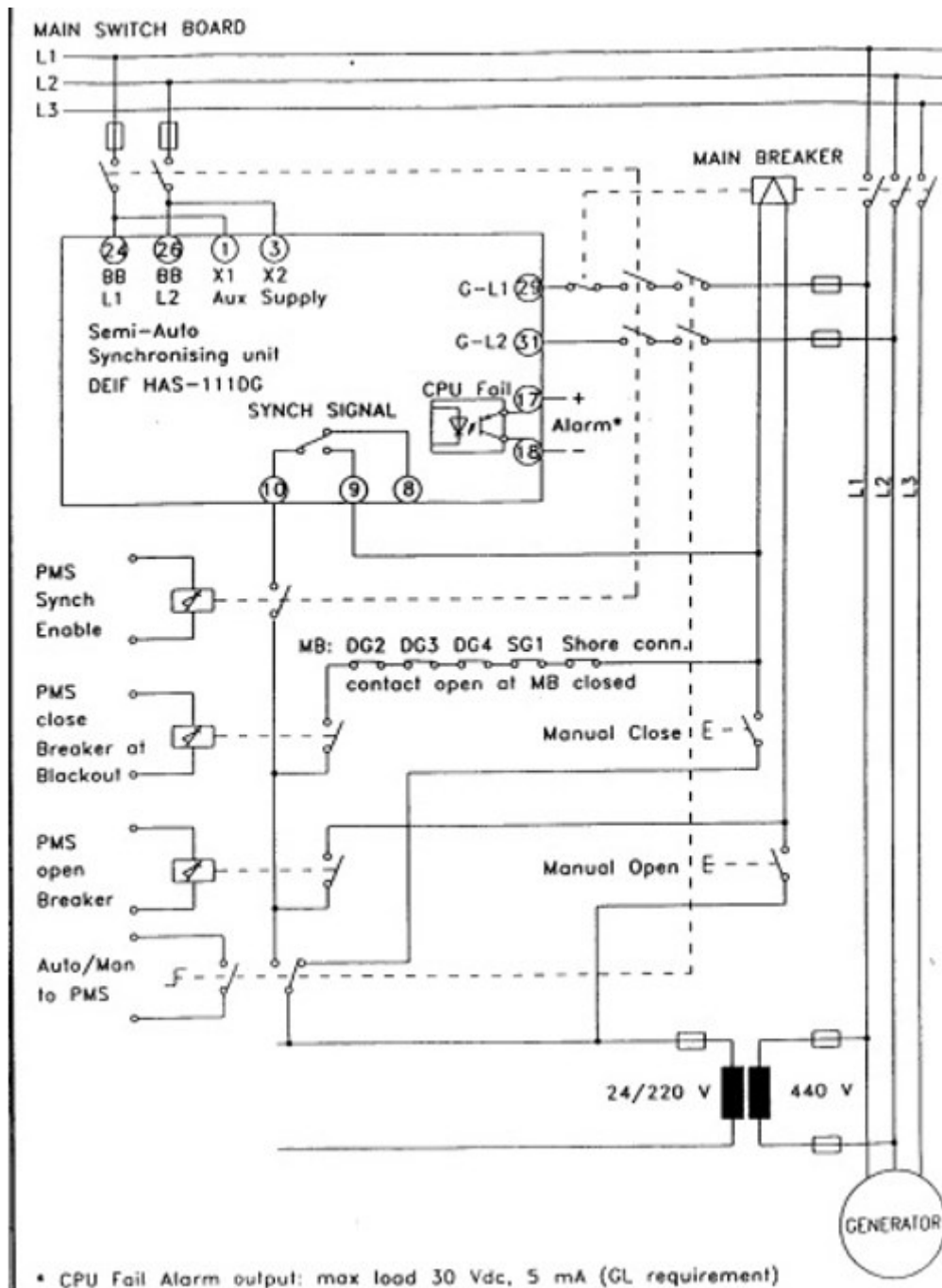
Kod poluautomatskoga rada, sustav za upravljanje električnom energijom ne može automatski aktivirati ili deaktivirati generator. Operater ima kontrolu putem grafičkog upravljačkog sučelja nad generatorima koji su uključeni ili isključeni. To jest operater regulira dostupnu snagu. Kada operater izda naredbu za pokretanje dizelskog generatora, generator se aktivira i automatski usklađuje s mrežom. Nakon toga slijedi kontrola frekvencije i ravnoteža opterećenja među svim povezanim generatorima.

Prilikom zaustavljanja dizelskog generatora koji je mrežno spojen i koji se upravlja sustavom upravljanja električnom energijom, operater to može učiniti iz stanice operativnog grafičkog sustava. Prekidanje rada podrazumijeva smanjenje opterećenja, odvajanje od mreže i deaktivaciju rada dizelskog generatora. Generator ne može biti isključen ako je posljednji na glavnoj rasklopnoj ploči.

## **5.3. AUTOMATSKO UPRAVLJANJE**

U automatiziranom sustavu za upravljanje električnom energijom, postoji mogućnost automatskog povezivanja i odspajanja generatora s glavne rasklopne ploče. Ova akcija spajanja i odspajanja generatora od električne mreže ovisi o trenutnom opterećenju sustava. Dizelski generatori u stanju pripravnosti se aktiviraju prema potrebi, usklađuju s glavnom rasklopnom pločom i automatski se pridružuju ili odvajaju ovisno o tome treba li prihvatiti ili odbiti spajanje s velikim potrošačima na mreži.

Na temelju prioriteta i trenutne potrošnje električne energije, dizelski generatori u stanju pripravnosti pokreću se, usklađuju se s glavnom rasklopnom pločom te se automatski rasterete, odspajaju i isključe kad god je to potrebno.



Slika 22. Dijagram sustava PMS 2100 – Otvaranje/Zatvaranje glavnog prekidača i sinkronizacija

Izvor: Peruško M., „Automatizacija elektroenergetskog sustava broda“ Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2020.

Dizelski generator može biti zaustavljen bez mijenjanja njegovog režima rada tako da se generatoru koji je trenutno povezan s mrežom dodijeli niži prioritet. U tom trenutku, sustav za kontrolu električne energije će automatski aktivirati generator s višim prioritetom i isključiti onaj s nižim.

Dizelski generator može biti isključen iz automatskog upravljanja putem prebacivanja upravljanja na lokalni ili ručni način. U slučaju promjene načina upravljanja sustavom za upravljanje električnom energijom iz lokalnog, ručnog ili poluautomatskog u automatski režim, sustav za upravljanje električnom energijom će automatski ažurirati svoju centralnu konfiguraciju, što će rezultirati povezivanjem dizelskih generatora s najvišim prioritetom na mrežu.[9] [10]

## ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada bio je detaljno opisati automatizaciju brodske električne centrale. Ovaj opis obuhvatio je razmatranje različitih klasa automatizacije, evoluciju ovog procesa kroz vrijeme, kao i komponente koje čine brodsku električnu centralu. Te komponente uključuju generatore, uključujući dizel generatore i osovinske generatore, te njihovu funkcionalnu podjelu. Također smo istraživali generatore za hitne slučajeve i komponente glavne rasklopne ploče kako bismo bolje razumjeli funkcionalnost i strukturu ovih sustava.

U radu je i prikazana i sinkronizacija generatora.

Opisuje se i sustav za upravljanje električnom energijom brodske električne centrale koji automatski regulira proizvodnju električne energije, prilagođavajući je trenutačnim operativnim potrebama broda.

Automatizacija brodske električne centrale predstavlja ključni korak naprijed u pomorskom sektoru. Ovaj tehnološki napredak donosi veću sigurnost, efikasnost i održivost plovidbe. Automatizacija omogućava brže reagiranje na promjene u potrebama za električnom energijom i smanjuje rizik od ljudskih grešaka. Uz to, integracija različitih sistema olakšava održavanje i servisiranje, čime se smanjuju operativni troškovi. S obzirom na kontinuirani razvoj tehnologije, automatizacija će i dalje biti ključna za unapređenje brodskih električnih centrala i doprinos održivijoj i konkurentnijoj pomorskoj industriji.

Automatizacija brodske električne centrale donosi mnoge prednosti, uključujući veću sigurnost, efikasnost i održivost, ali također nosi i neke izazove, kao što su visoki troškovi implementacije i potreba za održavanjem. Odluka o uvođenju automatizacije treba pažljivo balansirati između prednosti i nedostataka, uzimajući u obzir specifične potrebe i zahtjeve svakog broda.

Budući da je brodski elektroenergetski sustav izuzetno opsežan, nemoguće je pružiti potpuni opis svake pojedinosti u jednom istraživačkom radu. Stoga se rad fokusirao na osnovnu klasifikaciju i opis rada ključnih komponenata sustava. Ovaj rad može pomoći budućim studentima kod istraživanja i potaknuti buduće električare i automatičare za rad na brodovima i na sažeti način im prikazati brodski elektroenergetski sustav.

## LITERATURA

- [1] Tomas V., Šegulja I., Valčić M. , 2010. , Osnove Automatizacije, Pomorski fakultet, Rijeka
- [2] Tomas V., 2021. Računalo upravljanje brodskim sustavima, Autorizirani materijali s predavanja, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka
- [3] AntoniĆ R ., 2010. , Brodsko automatsko upravljanje, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu, Split.
- [4] Valčić M ., 2015 . , Autorizirana predavanja iz predmeta „Automatizacija brodskih sustava“ , Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka.
- [5] Vučetić D ., 2015 ., Brodski električni sustavi, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka.
- [6] Cuculić A., Autorizirana predavanja iz predmeta „Brodski električni sustavi“. Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka.
- [7] Emes D., „Elektroenergetski sustav broda“ Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2017.
- [8] Assani N., „Brodsko električna centrala putničkih brodova“ Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu, Split, 2018.
- [9] Peruško M., „Automatizacija elektroenergetskog sustava broda“ Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2020.
- [10] Lyngsø Marine A/S, System Description, Power Management System – PMS 2100

Slika 1. Prva generacija brodske automatizacije od 1960. do 1980. godine.....	3
Slika 2. Druga generacija brodske automatizacije od približno 1980. do 1990. godine.....	4
Slika 3. Treća generacija brodske automatizacije otprilike od 1990. do 1995. godine.....	4
Slika 4. Četvrta generacija brodske automatizacije.....	5
Slika 5. Presjek generatora s nezavisnom uzбудom .....	8
Slika 6. Krivulja potrošnje goriva dizel motora .....	9
Slika 7. Električna shema sinkronog generatora s nezavisnom uzбудom.....	10
Slika 8. Osovinski generator smješten na različitim pozicijama.....	11
Slika 9. Osovinski generator sa brodskim vijkom s prekretnim krilima (CPP) .....	13
Slika 10. Osovinski generator sa statičkim pretvaračem frekvencije.....	14
Slika 11. Blok shema postrojenja s turbogeneratorom.....	15
Slika 12. Shematski prikaz generatora za nužnost u Kongsberg simulatoru .....	16
Slika 13. Primjer baterijske stanice na brodu .....	18
Slika 14. Polje glavne rasklopne ploče s pripadajućim dijelovima.....	20
Slika 15. Podjela generatora na sekcije .....	20
Slika 16. Jednopolna shema VN-GRP 6,6kV .....	21
Slika 17. Jednopolna shema NN-GRP 440V .....	22
Slika 18. Jednopolna shema rasklopne ploče za nužda .....	23
Slika 19. Principna shema sinkronizacije generatora.....	24
Slika 20. PMS 2100 sustav za upravljanje električne energije sa tri dizel generatora i jednim osovinskim generatorom .....	25
Slika 21. PMS 2100 - Ručno/Automatsko upravljanje brojem okretaja .....	26
Slika 22. Dijagram sustava PMS 2100 – Otvaranje/Zatvaranje glavnog prekidača i sinkronizacija .....	28