

BRODSKI ELEKTRIČNI SUSTAVI

Dr. sc. Dubravko Vučetić

ver. 5.01 (2011)

DOPUNSKA LITERATURA:

1. **B. Skalicki, J. Grilec, Brodski električni uređaji**, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.

I. SIGURNOST

1. PREDNOSTI ELEKTRIČNIH UREĐAJA

- trenutna spremnost za pogon
- jednostavnost prijenosa energije
- jednostavna pretvorba u mehaničku, svjetlosnu, kemijsku i toplinsku energiju
- stabilne pogonske karakteristike
- pouzdanost
- jednostavnost rukovanja i održavanja
- visoki stupanj korisnosti
- dug životni vijek
- neznatan utjecaj na okoliš

2. NEDOSTACI ELEKTRIČNIH UREĐAJA

- opasnost od strujnog udara
- opasnost od izazivanja požara i eksplozije
- osjetljivost na vlagu

3. DJELOVANJE STRUJNOG UDARA NA ČOVJEKA

Biološko	(grčenje mišića, treperenje i paraliza srca, paraliza disanja, nesvjestica, smrt)
Toplinsko	(vanjske i unutarnje opekotine, zagrijavanje krvnih žila)
Elektrolitsko	(rastvaranje krvi i drugih tjelesnih tekućina)
Mehaničko	(lomljenje kostiju, iščašenje zglobova, kidanje mišića i tetiva)

4. FAKTORI KOJI UTJEČU NA POSLJEDICE STRUJNOG UDARA

- put prolaska struje kroz čovjeka (srce)
- frekvenciji struje (40-60Hz najopasnije)
- trajanje strujnog udara (ako je kraće od 0,1s nema posljedica niti kod 100mA)
- jakost struje
 - 0,6-3mA donji prag osjeta
 - 10-15mA grčenje mišića
 - 20-25mA problemi s disanjem
 - 50mA donja granica smrtne opasnosti
 - 100mA gotovo sigurna smrt

5. UTJECAJ NAPONA NA POSLJEDICE STRUJNOG UDARA

Iako je formalno točno da ubija struja (mA) a ne napon (V), činjenica je da napon potjera struju i da je visina struje proporcionalna naponu. Treba se dakle čuvati svih uređaja koji su pod naponom višim od 50V.

6. OSNOVNI PRINCIPI TEHNIČKE ZAŠTITE OD UDARA ELEKTRIČNE STRUJE

- onemogućiti dodir s dijelom uređaja koji je pod naponom
- ograničiti jakost struje (napon dodira) na bezopasan iznos
- ograničiti vrijeme trajanja strujnog udara

7. MJERE TEHNIČKE ZAŠTITE OD UDARA ELEKTRIČNE STRUJE

- **Izvan dohvata** (dijelovi pod naponom su ograđeni ili dovoljno udaljeni da se ne mogu dodirnuti)
- **Izolacija** (dijelovi pod naponom su odijeljeni izolacijom (plastično kućište, tipkala, ručice ...))
- **Dvostruka izolacija** (kućište može biti metalno ali je električni dio unutar njega dvostruko izoliran)
- **Sigurnosni napon** (napon instalacije niži od 50V)
- **Galvansko odvajanje** (izolacijski transformator 1:1 onemogućuje zatvaranje strujnog kruga kroz čovjeka)
- **Zaštitno uzemljenje** (izjednačenje potencijala svih dostupnih vodljivih dijelova s potencijalom trupa)

8. MJERE OSOBNE ZAŠTITE PRI RADU S ELEKTRIČNOM STRUJOM

- nositi suhu odjeću i cipele s gumenim potplatom
- isključiti strujni krug sa napajanja ako je moguće
- osigurati da ne može doći do hotimičnog uključanja (izvaditi osigurač, zaključati sklopku ili prekidač, blokirati automatiku)
- postaviti znak upozorenja na bitnim mjestima
- obavijestiti sve involvirane što radite, a posebno one koji mogu daljinski hotimice uključiti uređaj na kojem radite.
- po potrebi koristiti gumenu prostirku za klečanje, ležanje ili sjedenje
- koristiti alat s izoliranim drškama
- prije prvog kontakta sa strujnim krugom provjeriti provjerenim voltmetrom ili ispitivačem s dvije žice da li je isti pod naponom (ne smije se koristiti kućni ispitivač napona – odvijač)
- ako se strujni krug ne može isključiti koristiti gumene ili suhe kožne rukavice
- koristiti plastičnu zaštitnu kacigu kada postoji opasnost od kontakta s vodičima pod naponom ili ozlijede glave prilikom pada
- vezati se kod rada na visini
- prije pružanja pomoći unesrećenom isključiti napajanje ako je moguće, a ako nije koristiti neki izolator (suhe rukavice, komad suhe odjeće, cipelu...) pri njegovom odvajanju od vodiča pod naponom

9. ELEKTRIČNI UREĐAJI I OPASNOST OD EKSPLOZIJE I POŽARA

- Ako je u prostoru prisutna eksplozivna koncentracija gorivog plina i zraka, **električna iskra** može poslužiti kao upaljač koji će upaliti smjesu i tako izazvati eksploziju.
- **Slab kontakt** (labav, oksidiran, pregrijan) izaziva jako zagrijavanje (čak i taljenje materijala) i može izazvati požar ako se u blizini nađe gorivi materijal.
- **Pregrijavanje vodiča** (unutar uređaja ili priključnih kabela) uslijed preopterećenja, kratkog spoja ili spoja s masom može također izazvati požar.

10. ZONE OPASNOSTI OD EKSPLOZIJE

Zona 0 - eksplozivna koncentracija je trajno ili dugotrajno prisutna (zatvoreni prostori spremišta, odjeljaka i prostorije sa pumpama goriva i tereta...) Najopasnija zona. Izbjegava se ugradnja električne opreme. Dozvoljeno je samo: Exi, Exs

Zona 1 - velika vjerojatnost pojave eksplozivne koncentracije tijekom normalnih uvjeta eksploatacije (zatvoreni i poluzatvoreni prostori, na palubi tankera, prostori koji graniče s odjeljcima i spremištima, akumulatorska stanica ...) Pored Exi, Exs može i Exp, Exd, Exe,

Zona 2 - mala vjerojatnost kratkotrajne pojave eksplozivne koncentracije tijekom normalnih uvjeta eksploatacije (otvoreni prostori na palubi tankera na određenoj udaljenosti od zone 1) Može i Exn, Exo i Exq

11. PRINCIPI PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE KOD Ex IZVEDBI ELEKTRIČNIH UREĐAJA

- Oklapanje ugroženog prostora (unutar uređaja) radi lokalizacije eksplozije unutar uređaja (Exd)
- Ograničenje energije uzročnika paljenja (Exi)
- Ograničenje temperature uzročnika paljenja uz posebne mjere za smanjenje njegove pojave zbog greške (Exe, Exn)
- Izoliranje uzročnika paljenja od eksplozivne smjese krutim tekućim ili plinovitim medijem (Exp, Exq, Exo)

12. Exd - NEPRODORNI OKLOP (flameproof enclosure)

Kućište uređaja dozvoljava ulazak eksplozivne smjese ali je tako projektirano da izdrži eksploziju pa ne može doći do paljenja okolnog prostora. Uglavnom se koristi za svjetiljke, elektromotore i sklopke. Izlaz plamena je konstrukcijski sriječen širokim i preciznim spojevima vanjskih dijelova uređaja.

13. Exi - SAMOSIGURNOST (intrinsic safety)

Napajanje uređaja je izvedeno s ograničenjem napona i struje tako da niti u slučaju kratkog spoja nema dovoljno energije za stvaranje električnog luka (iskre). Posebni zaštitni modul osigurava svaki strujni krug. Kod prorade zaštite modul se mora zamijeniti. Kabeli moraju biti jasno označeni i polagani odvojeno od drugih kabela s kojima se križaju pod pravim kutom. Uglavnom se koristi za komunikacije, signalizaciju, mjerenje i upravljanje.

Exia je sigurnija izvedba koja dozvoljava dvije istovremene greške u sustavu, dok Exib dozvoljava samo jednu grešku.

14. Exp - NADTLAK (pressurisation)

U uređaj se dovodi komprimirani plin (zrak ili dušik) tako da je tlak u njemu uvijek malo viši od tlaka u okolnom prostoru. Na taj način eksplozivna smjesa ne može ući u uređaj pa eventualno iskrenje ne može izazvati eksploziju. Uređaj se prije puštanja u pogon mora propuhati kako bi se odstranila eksplozivna smjesa koja se mogla nakupiti dok nije bilo nadtlaka. U slučaju gubitka tlaka aktivira se alarm, a uređaj se isključuje. Uglavnom se koristi za motore, svjetiljke i instrumente.

15. Exe - POVEĆANA SIGURNOST (increased safety)

Nema neke posebne zaštite od eksplozije već je izvedba takva da onemogućuje pojavu jakog zagrijavanja, iskrenja ili kratkog spoja, a kućište je otpornije na udarce i prodor tekućine ili stranih tijela. Uglavnom se koristi za elektromotore, svjetiljke i priključne kutije

16. Exn – NEISKREĆA OPREMA (non-sparking)

Slično kao Exe uređaji ne stvaraju iskre i nemaju jako zagrijanih površina, ali su zahtjevi općenito mnogo blaži. Uređaji jako nalikuju na standardne izvedbe.

17. OSTALE Ex IZVEDBE

Exs - POSEBNE MJERE ZAŠTITE (special protection)

Posebno atestirana oprema za konkretnu situaciju.

Exq – PUNJENO PRAHOM (powder filled)

Eksplozivna smjesa ne može ući jer je uređaj napunjen prahom.

Exo – PUNJENO ULJEM (oil immersed)

Eksplozivna smjesa ne može ući jer je uređaj napunjen uljem.

18. TEMPERATURNNA KLASA PROTUEKSPLOZIJSKE OPREME

Pored odgovarajuće Ex oznake na uređaju se nalazi i oznaka temperaturne klase. Temperaturna klasa definira najveću moguću temperaturu površine komponenti uređaja u ispravnom stanju ili kod kvara. Pretpostavljena temperatura okoline je 40°C. Temperaturna klasa ne smije biti viša od temperature paljenja eksplozivne smjese koja se očekuje. Najsigurnija je T6 koja jamči da temperatura neće preći 85 °C, a najslabija T1 kod koje se uređaj može zagrijati i na 450 °C. Za eksplozivne smjese koje se pale na višim temperaturama to je međutim sasvim dovoljno.

T1	do 450°C
T2	do 300°C
T3	do 200°C
T4	do 135°C
T5	do 100°C
T6	do 85°C

19. GRUPE PLINOVA PROTUEKSPLOZIJSKE OPREME

Grupa I (metan) najmanje opasan

Grupa IIA (amonijak, ugljični monoksid, propan, butan, metanol, etanol, aceton...)

Grupa IIB (etilen, etilen oksid...)

Grupa IIC (vodik) najopasniji

Oprema s oznakom IIC može se koristiti i za grupe plinova IIA i IIB, a oprema s oznakom IIB i za grupu plinova IIA.

Primjer oznake na uređaju: **Exia IIC T4** No. BASEEFA Ex 78229X

20. STATIČKI ELEKTRICITET

Manifestira se kao napon pojedinih dijelova brodske opreme i ljudi prema masi broda (do cca 4000V).

Javlja se na:

- ljudima i njihovoj odjeći
- svim el. izoliranim dijelovima brodske opreme (cijevi za pretakanje, metalni dijelovi položeni na nevodljivu podlogu...)
- isturenim dijelovima broda kada je u blizini nabijeni oblak.

Nastaje trenjem različitih materijala pri čemu jedan gubi a drugi preuzima elektrone:

- strujanjem zraka (vjetar)
- strujanjem tekućine u cijevima (prekrcaj tereta)
- influencijom (el. nabijeni oblak privlači suprotne naboje na brodski gromobran)

21. OPASNOSTI OD STATIČKOG ELEKTRICITETA

Statički je elektricitet izuzetno opasan u zonama opasnosti od eksplozije jer može uzrokovati iskru a time i zapaljenje eksplozivne smjese.

Za ljude je zbog mogućeg **udara groma** direktno opasan samo atmosferski statički elektricitet. Brodovi imaju gromobranksku instalaciju koja štiti cijelu palubu i teret.

Statički elektricitet koji se nakuplja na ljudima i dijelovima opreme neugodan je ali nije direktno opasan za ljude jer nema dovoljno energije.

22. MJERE ZA SPRJEČAVANJE NAKUPLJANJA STATIČKOG ELEKTRICITETA

- uzemljenje svih vodljivih dijelova
- uzemljeni metalni opleti na cijevima
- gromobran

Velika vlažnost zraka omogućuje polagano izbijanje pa se u tim uvjetima statički elektricitet ne nakuplja.

23. PRINCIP RADA GROMOBRAHA

Gromobran izbija okolnu atmosferu i time sprječava pojavu groma. Ako do groma ipak dođe sposoban je njegovu energiju sigurno provesti do uzemljivača. **Štićena zona** je oblika stošca s hvataljkom na vrhu i plaštem pod kutom 45° od vertikale.

Gromobran se sastoji od:

- hvataljke groma
- odvodnog voda
- uzemljenja

Hvataljka groma (zašiljena metalna šipka minimalnog promjera 12mm) mora biti postavljena na sve jarbole tako da ih nadvisuje za najmanje 30 cm.

Odvodni vod mora biti neprekinut (kvalitetni spojevi zaštićeni od korozije) i ne smije prolaziti kroz zatvorene prostore i zone opasnosti od eksplozije, niti se lomiti pod oštrim kutem.

Dok je brod u doku ili na navozu gromobranska instalacija se obavezno mora spojiti s kopnenim uzemljenjem ili s uzemljenjem plovnog doka.

24. PROPISI ZA BRODSKU EL. OPREMU

- SOLAS konvencija s amandmanima (IMO)
- IEC, IEEE
- Pravila klasifikacijskih zavoda (HRB, LR, BV, RI, ABS, GL, NV...)

25. ULOGA KLASIFIKACIJSKIH ZAVODA

Klasifikacijski zavod kontrolira:

- projektnu dokumentaciju
- proizvodnju materijala i uređaja
- gradnju broda
- ispitivanje i puštanje u pogon
- eksploataciju

Sva brodska oprema mora imati ATEST odgovarajućeg registra.

26. ZNAČAJ ATESTA

Atest garantira da uređaj ili materijal, zadovoljava pravila Registra, što znači da se može sigurno i pouzdano koristiti u brodskim uvjetima eksploatacije koji su specifični zbog:

- izoliranosti od kopnene infrastrukture (popravak u uvjetima broda)
- opasnosti od požara i eksplozije
- loših klimatskih uvjeta
- rada pod nagibom (uzdužno do 5° -kratkotrajno do 10°; -bočno do 15° -kratkotrajno do 22,5°)
- jakih vibracija (glavni motor, pomoćni motori)
- mogućnost mehaničkih oštećenja (udarci)

Korištenje uređaja bez atesta može ugroziti sigurnost broda, izazvati zadržavanje broda u luci, ili u najmanju ruku stvoriti troškove zbog otkazivanja uređaja koji ne može izdržati uvjete eksploatacije na brodu.

27. KLIMATSKI UVJETI EKSPLOATACIJE BRODSKIH ELEKTRIČNIH UREĐAJA

Temperatura:

- vrlo niske i vrlo visoke temperature
 - na palubi od -25 do +45°C
 - u strojarnici do 60°C
- nagle promjene temperature (dan-noć)

Vlaga:

- visoka relativna vlažnost zraka (do 98% kod 25°C)
- kondenzacija na pregradama i oplati (kapanje)
- kondenzacija unutar kućišta el. strojeva (stradava izolacija)
- zapljuskivanje morskom vodom
- uranjanje u vodu

Agresivna atmosfera može oštetiti izolaciju:

- ulje
- gorivo
- gljivice i plijesan
- sol i vlaga pojačavaju koroziju i slabljenje izolacije

28. STUPANJ MEHANIČKE ZAŠTITE ELEKTRIČNIH UREĐAJA IP

Pokazuje otpornost električnog uređaja na vodu i krute predmete. Prvi broj pokazuje mehaničku zaštitu a drugi zaštitu od vode. Veći broj znači viši stupanj zaštite.

Mehanička zaštita (prvi broj):

- 0 bez zaštite
- 1 > 50 mm (šaka)
- 2 > 8 mm (prst)
- 3 > 2,5 mm (alati)
- 4 > 1 mm (žica)
- 5 zaštita od štetnog taloženja prašine
- 6 potpuna mehanička zaštita

Zaštita od vode (drugi broj):

- 0 bez zaštite
- 1 od vertikalnog kapanja
- 2 od vertikalnog kapanja kod nagiba do 15°
- 3 od prskanja do 60° od vertikale
- 4 od štrcanja iz svih smjerova
- 5 od štrcanja u mlazu iz svih smjerova
- 6 od zapljuskivanja mora i jakih mlazova
- 7 od uranjanja do 1m dubine do 30 minuta
- 8 moguć trajni rad pod vodom

Primjer:

- IP 20 za rasvjetu u stambenim suhim prostorima
- IP 68 za uronjene pumpe

29. ELEKTROMAGNETSKE SMETNJE

EMI – Elektromagnetska interferencija je svaka elektromagnetska smetnja koja može poremetiti rad električnih (elektroničkih) uređaja

Izvori:

- iskrenje (istosmjerni elektromotori, sklopke...)
- atmosferska pražnjenja (gromovi)
- nagle promjene napona i struje (uključivanje i isključivanje uređaja)
- energetska elektronika (nesinusoidalna struja-harmonici, propadi...)
- odašiljači (radio stanica, mobilna telefonija...)

Širenje elektromagnetskih smetnji:

- vodičima (mrežom)
- zračenjem

Mjere zaštite:

- udaljšavanje (osjetljivih instalacija od izvora smetnji)
- oklapanje (izvora smetnji ili osjetljivih uređaja/instalacija)
- prigušivanje
- filtriranje

Elektromagnetska kompatibilnost uređaja znači da je izrađen u skladu s propisima te da nema štetnog utjecaja na druge uređaje.

30. ZNAČAJ EL. ENERGIJE ZA FUNKCIONIRANJE BRODA

Bez električne energije brod ne može ostvariti niti jednu od svojih eksploatacijskih funkcija:

Plovidba nije moguća jer ne rade:

- glavni porivni stroj (pumpe: ulja, goriva, rashladne vode)
- kormilo
- pramčani i krmni bočni porivnici

Prekrcaj tereta nije moguć jer ne rade:

- pumpe tereta
- dizalice
- pomične rampe, pregrade, vrata
- balastne pumpe

Boravak na brodu nije moguć jer nema:

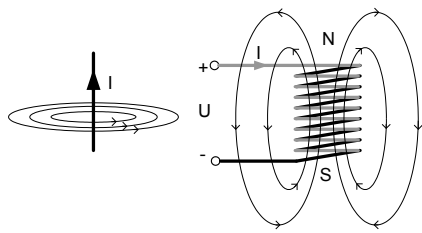
- svjetla
- grijanja/hlađenja
- vode

Sigurnost je ugrožena jer ne rade:

- vatrodojava
- protupožarne pregrade
- protupožarne pumpe
- hlađenje tereta

II. BRODSKI ELEKTRIČNI STROJEVI I SUSTAVI

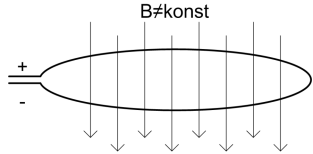
31. FORMIRANJE MAGNETSKOG POLJA U ELEKTRIČNIM STROJEVIMA.



Oko vodiča kojim teče struja stvara se magnetsko polje. Smjer polja određuje se pravilom desnog vijka. Ako se vodič namota na špulu (svitak - namot) i kroz njega pusti struja, nastaje snažan elektromagnet. Kako silnice magnetskog polja neusporedivo lakše prolaze kroz željezo nego kroz zrak električni strojevi imaju magnetsku jezgru načinjenu od čeličnih limova koji magnetsko polje stvoreno u uzбудnim namotima (elektromagnetima) vode do mjesta gdje će biti iskorišteno za stvaranje elektromagnetske sile ili induciranje napona u drugim vodičima.

$$H = \frac{NI}{l}$$

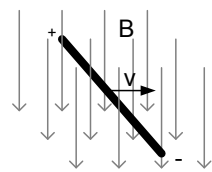
32. FARADAYEV ZAKON (POJAVA INDUCIRANOG NAPONA U VODIČU)



Ako se vodljiva petlja (namot) nalazi u promjenljivom magnetskom polju u njoj će se prema Faradayevom zakonu inducirati napon. Ako se strujni krug zatvori inducirani napon će potjerati struju.

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

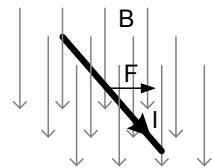
33. INDUCIRANJE NAPONA U ROTACIONIM STROJEVIMA



Na vodiču koji se kreće u magnetskom polju tako da siječe njegove silnice (ili obratno silnice se kreću i sijeku vodič) javlja se inducirani napon. Ako se strujni krug zatvori inducirani napon će potjerati struju.

$$e = Blv$$

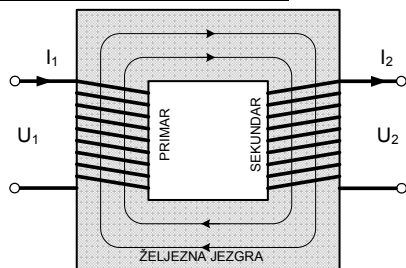
34. ELEKTROMAGNETSKA SILA



Na vodič koji se nalazi u magnetskom polju ako kroz njega teče struja djeluje sila. Sila je okomita na smjer struje (vodič) i na smjer magnetskog polja.

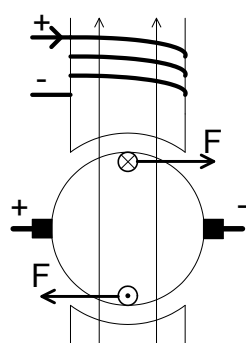
$$F = BIl$$

35. TRANSFORMATOR



Transformator služi za pretvaranje **izmjeničnog** napona s jednog naponskog nivoa na drugi (npr. 440V/220V), pri čemu frekvencija ostaje nepromijenjena. Aktivni dijelovi transformatora su magnetska (željezna) jezgra, primarni i sekundarni namot. Kada se primarni namot priključi na izvor izmjeničnog napona kroz njega poteče odgovarajuća izmjenična struja koja stvori magnetsko polje u magnetskoj jezgri. Sekundarni namot obuhvaća magnetsku jezgru kroz koju prolaze silnice promjenljivog magnetskog polja odnosno promjenljivi magnetski tok pa se u njemu inducira izmjenični napon. Ako se na krajeve sekundarnog namota priključi električno trošilo inducirani napon potjera struju.

36. ISTOSMJERNI MOTOR



Koristi se još samo na malim brodicama koje nemaju izmjeničnu struju (12V ili 24V DC) i na starijim dizalicama. Na statoru se namotani na glavne polove nalaze uzбудni namotaji kroz koje teče istosmjerna uzбудna struja koja stvara glavno magnetsko polje koje je kao i struja koja ga je stvorila nepromjenljivo. Istosmjerna armaturna struja privedena motoru se preko ugljenih četkica i kolektora komutira (pretvara u izmjeničnu) i prenosi na rotorske (armaturne) vodiče koji su smješteni u utorima rotorskog paketa limova (željezo). Na rotorske vodiče kojima teče struja a nalaze se u magnetskom polju statora djeluje elektromagnetska sila koja zakreće rotor. Kroz rotorske vodiče teče struja samo dok prolaze ispod glavnih polova jer se u tom vremenu i lamele na kolektoru preko kojih se napajaju nalaze ispod četkica. Rotorska struja mora biti izmjenična kako bi vodiči kada prolaze ispod sjevernog pola imali suprotan smjer struje nego kada prolaze ispod južnog pola jer je u tom slučaju elektromagnetska sila suprotnog, a razvijeni moment istog smjera.

37. ISTOSMJERNI GENERATOR

Više se ne koristi. Po konstrukciji je isti kao i motor. Na statoru se namotani na glavne polove nalaze uzбудni namotaji kroz koje teče istosmjerna uzбудna struja koja stvara glavno magnetsko polje. Pogonski stroj okreće rotor na kojem se u utorima rotorskog paketa limova (željezo) nalaze rotorski (armaturni) vodiči koji pri tome sijeku silnice magnetskog polja statora, te se u njima inducira napon. Kako rotorski vodiči prolazeći ispod sjevernog pola sijeku silnice polja u jednom, a

prolazeći ispod južnog pola u drugom smjeru, induciraju se pri tome naponi suprotnog polariteta, što znači da na rotorskim vodičima vlada izmjenični napon i da njima kad je generator opterećen teku izmjenične struje. Kolektor i četkice ispravljaju izmjenični rotorski napon tako da na četkicama pričvršćenim na stator vlada istosmjerni napon na koji se priključuju istosmjerna trošila.

38. ASINKRONI KAVEZNI MOTOR

Najviše korišteni motori na brodovima. Asinkroni motori rade na principu okretnog magnetskog polja kao posljedice trofaznih struja koje teku trofaznim statorskim namotima. Vektor okretnog magnetskog polja rotira sinkronom brzinom $n_s=60f/p$ i pri tome siječe štapove (vodiče) rotora u kojima se stoga inducira napon. Kroz rotorske vodiče poteče struja a kako se nalaze u magnetskom polju statora na njih djeluje sila. Asinkroni motor ne stvara moment kod sinkrone brzine već se uvijek okreće manjom brzinom. Razlika između brzine rotora i brzine okretnog magnetskog polja naziva se klizanje: $s=(n_s-n)/n_s$. Nazivno klizanje iznosi 3-5%. Ako je klizanje veće (brzina niža od nazivne) motor je preopterećen.

39. NAJČEŠĆI KVAROVI ASINKRONIH MOTORA

- **neispravan ležaj** (manifestira se kao povećana buka i vibracije – zamijeniti ležajeve)
- **spoj s masom** (dok je motor u radu javlja se alarm niskog otpora izolacije i $M\Omega$ -metar na glavnoj rasklopnj ploči pokazuje mali otpor. Kontrolirati otpor izolacije direktno na motoru. Pokušati osušiti namote motora. Ako sušenje ne uspije motor mora na servis.)
- **kratki spoj** (kod uključivanja izbaciti prekidač ili pregore osigurači – motor treba zamijeniti drugim ili dati na popravak u servis)

40. UPUĆIVANJE ASINKRONIH MOTORA

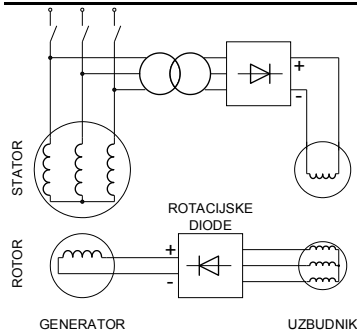
Mali motori: upućuju se **direktno**.

Višebrzinski motori (vitla): upućuju se **u najnižoj (prvoj) brzini**.

Veliki motori (velike pumpe, pramčani propeler): **velika struja pokretanja** uzrokuje pad napona i frekvencije jer je brodski elektroenergetski sustav relativno slab pa se moraju pokretati pomoću indirektnih uputnika: **uputnik zvijezda-trokut, uputnik s autotransformatorom, tiristorski uputnik**

Regulirani elektromotorni pogoni napajani iz pretvarača frekvencije ne trebaju posebne uputnike jer im se tijekom zaleta kontrolirano povećavaju napon i frekvencija (najbolje).

41. SINKRONI GENERATOR (SAMOUZBUDNI BESKONTAKTNI)



Sinkroni generatori su osnovni izvori električne energije na brodu. Danas se ugrađuju isključivo **samouzbudni beskontaktni sinkroni generatori**. Sastavljeni su od glavnog generatora i uzбудnika (exciter). Glavni generator je sinkroni stroj s trofaznim namotima na statoru i uzbudnim namotima na polovima rotora. Uzbuđom teče istosmjerna struja stvarajući tako magnetsko polje. Pogonski stroj okreće rotor pa silnice polja sijekući statorske namotaje induciraju u njima trofazni izmjenični napon. Uzbuđnik je invertirani sinkroni generator (uzbuđna na statoru – trofazna armatura na rotoru). Statorski uzbuđni namotaji uzbuđnika spojeni su na trofazni napon induciran u statoru glavnog generatora preko diodnog ispravljača i regulatora napona koji daju istosmjernu struju, koja stvara magnetsko polje. Zbog vrtnje rotora, rotorski vodiči uzbuđnika presijecaju silnice polja pa se u njima inducira trofazni napon koji se na rotoru ispravlja na diodnom ispravljaču i dovodi na uzbuđne namotaje glavnog generatora.

42. PRIMARNE ELEKTRIČNE ZAŠTITE GENERATORA

Primarne zaštite su smještene u generatorskom prekidaču kojeg isključuju direktnim mehaničkim putem. To su:

- **zaštita od kratkog spoja ($I \gg$)** ima vremensko zatezanje (dt) - zbog selektivnosti
- **prekostrujna zaštita ($I >$)**
 - isključuje na $1,2I_n$
 - vremensko zatezanje zbog pokretanja velikih motora
- **podnaponska zaštita ($U >$)**
 - rezervna zaštita od kratkog spoja
 - isključuje na $0,85U_n$
 - vremensko zatezanje zbog pokretanja velikih motora, sinkronizacije i selektivnosti isključivanja kratkog spoja

43. SEKUNDARNE ELEKTRIČNE ZAŠTITE GENERATORA

Sekundarne zaštite su smještene u glavnoj rasklopnj ploči (GRP), a prekidač u slučaju potrebe isključuju električnim putem pomoću svitka za isključivanje. Najznačajnije sekundarne zaštite su:

- **zaštita od preopterećenja** (prorađuje prije prekostrujne zaštite i **isključuje manje važna trošila** kod preopterećenja generatora)
- **zaštita od povratne snage** (**isključuje generator** kod negativne snage i tako sprječava motorski rad generatora kod poremećaja u radu pogonskog stroja npr. kvara ili pogrešnog rukovanja)
- **termička zaštita** (senzor mjeri temperaturu namotima generatora i **isključuje generator** kad je previsoka-uglavnom zbog prljavog filtra zraka)

44. NAJČEŠĆI KVAROVI NA SAMOUZBUDNOM BESKONTAKTNOM SINKRONOM GENERATORU

Spoj s masom: Kada je generatorski prekidač uključen javlja se alarm niskog otpora izolacije i $M\Omega$ -metar na glavnoj rasklopnoj ploči pokazuje mali otpor. Kontrolirati otpor izolacije direktno na generatoru. Pokušati osušiti namote generatora. Ako sušenje ne uspije generator mora na servis.

Kvarovi na uzbudi: Manifestiraju se tako što nakon upućivanja generator uopće ne generira napon ili napon na trenutke slabi odnosno nestaje. Ako se nakon isključivanja automatske regulacije napona napon stabilizira, kvar je u automatskom regulatoru napona. Ako problemi ostanu kvar je negdje u krugu uzbude, a najčešće je to:

- **gubitak remanentnog magnetizma:** potrebno je dok se generator vrti na nekoliko sekundi priključiti 4 baterije od 1,5 volta spojene u seriju na uzbudne stezaljke uzbudnika.
- **olabavljeni kontakt** (prekontrolirati sve spojeve i po potrebi ih pritegnuti)
- **neispravna dioda** u rotorskom ili statorskom ispravljaču.

45. PARALELNI RAD GENERATORA

Nužan je zbog prilagođavanja proizvodnje el. energije trenutnim potrebama u različitim fazama eksploatacije broda, kako bi pogonski strojevi bili optimalno opterećeni odnosno radili s što manjom specifičnom potrošnjom [g/kWh]. Prije početka manevra pa sve do njegovog završetka obično su priključeni svi glavni generatori (dizel-generatori), ne samo zbog eventualne velike očekivane potrošnje (bočni porivnici, vitla) već i zbog povećanja raspoloživosti elektroenergetskog sustava a time i sigurnosti broda. Ovo vrijeme ipak treba maksimalno skratiti jer je potrošnja goriva povećana a nedovoljno opterećeni pomoćni motori se prljaju.

Problemi paralelnog rada: sinkronizacija, raspodjela djelatne snage [kW], raspodjela jalove snage [kVAr], zaštita od povratne snage

46. SINKRONIZACIJA

Sinkronizacija je postupak automatskog ili ručnog uključivanja sinkronog generatora u paralelni rad s mrežom pri čemu se nakon što su ispunjeni svi uvjeti uključuje generatorski prekidač. Svako isključivanje ili uključivanje većih trošila tijekom sinkronizacije utječe na ravnotežu sustava i produljuje vrijeme sinkronizacije (npr. vrlo je teško a često puta i nemoguće napraviti sinkronizaciju dok rade teretna vitla). **Uvjeti sinkronizacije:**

- isti redoslijed faza (kod instalacije)
- isti napon (o tome se brine automatski regulator napona)
- približno ista frekvencija (generator malo brži od mreže)
- da nema faznog pomaka između napona generatora i mreže (određuje se pomoću sinkronoskopa ili sinkronizacijskih lampi najčešće u tamnom spoju)

47. RASPODJELA DJELATNE SNAGE [kW]

Nakon sinkronizacije novo-priključeni generator radi bez opterećenja. Raspodjela djelatne snage vrši se tako da mu se preko regulatora broja okretaja pogonskog stroja (dizel motor, turbina) poveća dovod goriva uz adekvatno smanjenje istog na preostalim generatorima u paralelnom radu kako bi se zadržala konstantna frekvencija. Najčešće se prakticira jednako opterećenje svih generatora u paralelnom radu (EQUAL LOAD).

Kod uključivanja ili isključivanja nekog (većeg) trošila dolazi do brze raspodjele opterećenja koja ovisi o nagibu karakteristika opterećenja pogonskih strojeva $f(P)$. Razlikujemo statičku (kosu) i astatičku (ravnu) karakteristiku. Nagib karakteristike se može podešavati. Osovinski generator zbog mnogostruko veće snage pogonskog stroja ima astatičku karakteristiku.

48. RASPODJELA JALOVE SNAGE [kVAr]

Generatori pored djelatne snage moraju osigurati i nesmetanu razmjenu jalove snage. Najveći dio potrošnje električne energije na brodu otpada na asinkrone kavezne motore, tako da se faktor snage ($\cos \varphi$) kreće oko 0,8. Raspodjela jalove snage između generatora u radu i regulacija napona mreže vrši se promjenom uzbudne struje generatora preko automatskog regulatora napona (ARN). Povećanjem uzbudne struje generator preuzima više jalove snage. Slično kao i regulator broja okretaja i ARN može imati statičku i/ili astatičku karakteristiku $U(Q)$. U paralelnom radu je obavezna statička karakteristika, dok se u otočnom radu ponekad prakticira prelazak na astatičku karakteristiku zbog veće stabilnosti napona.

49. AUTOMATIKA BRODSKE ELEKTRIČNE CENTRALE

Lokalna:

- automatski regulator broja okretaja na pogonskom stroju
- automatski regulator napona
- automatski start generatora za nužnost

Sistemska:

- automatski start stand by agregata kod:
 - blackouta
 - alarma na agregatu u radu
 - povećanja potrošnje
 - potrebe uključivanja velikog trošila
- automatsko zaustavljanje agregata kod smanjenja potrošnje
- automatska sinkronizacija
- automatska raspodjela snage [kW]
- automatska regulacija frekvencije
- automatsko rasterećenje prije isključivanja s mreže

- sekvencijalni start esencijalnih pumpi nakon blackoutu
- blokada uključivanja velikih trošila (pramčani porivnik, el. pumpe tereta)
- odabir načina rada (minimalni broj generatora u radu)
- odabir prioriteta generatora (redoslijed uključivanja i isključivanja)

50. IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODU

Glavni generatori:

- dizel-motor (najčešće)
- parna turbina (turbinski pogon broda)
- plinska turbina (el. propulzija)

Generatori za povećanje ekonomičnosti:

- **osovinski generator** (pogonjen glavnim strojem)
- **parni turbogenerator** (koristi paru iz KIP-a)
- **lučki generator** (manji dizel-agregat za rad na vezu kada je potrošnja energije premala za rad glavnog generatora, na brodovima koji ga nemaju može ga zamijeniti generator za nužnost)

Generator za nužnost:

(vidi sljedeće pitanje)

Akumulatorske baterije:

- u akumulatorskoj stanici za napajanje sigurnosne mreže 24V i ponekad istosmjerne mreže 110 odnosno 220V
- kod agregata za nužnost za njegovo pokretanje
- dvije vrste: olovne PbO (jeftinije) i čelične NiCd (trajnije)

Galvanski članci (baterije)

za prijenosne ručne svjetiljke i komunikacijske uređaje

51. AKUMULATORSKE BATERIJE

Ukoliko na brodu nema dizel-generatora već se kao izvor energije za nužnost koriste **akumulatorske baterije** one **imaju ograničeni kapacitet**, pa je prema tome i vrijeme u kojem se mogu koristiti bez nadopunjavanja ograničeno i ovisi o priključenoj potrošnji.

Ukoliko se zbog velikog kvara očekuje da će blackout potrajati dulje treba **maksimalno smanjiti potrošnju** odnosno isključiti sva nepotrebna trošila.

Najmanje **vrijeme u kojem baterije moraju napajati zadanu potrošnju određeno je pravilima registra i ovisi o području plovidbe i veličini i vrsti broda i kreće se od 3 do 18 sati**. Ako se akumulatorske baterije koriste samo kao kratkotrajni izvor energije za napajanje u nužnosti moraju najmanje 30 minuta osigurati napajanje pomoćne rasvjete, komunikacije i signalizacije.

52. GENERATOR ZA NUŽNOST

- nalazi se u nadgrađu broda uz ploču za nužnost
- pogonjen je potpuno autonomnim dizel-motorom
- nema ograničenja po duljini rada
- uz automatski sustav pokretanja ima osiguran i rezervni način pokretanja
- relativno male snage jer napaja samo najnužnija trošila presudna za sigurnost broda koja su priključena na ploču za nužnost:
 - 1/3 rasvjete
 - protupožarne pumpe
 - protupožarne pregrade
 - vatrodojavu
 - pomoćni kompresor
 - pomoćne pumpe
 - kormilarski uređaj
 - navigacijska svjetla
 - navigacijske uređaje
 - komunikacijske uređaje
 - automatiku

53. OSOVINSKI GENERATORI

- Privješeni su na glavni porivni stroj direktno ili putem reduktora i varijatora (con speed)
- Snaga generatora je dovoljno velika da pokrije svu potrošnju u zadanim režimima eksploatacije.
- Većinom se koriste samo u navigaciji, ali na nekim brodovima i za manevar, prekrcaj, naglo hlađenje tereta...
- Osnovni problem osovinskih generatora je održavanje konstantne frekvencije kod različite veličine poriva.
- Nagli manevar može kod CPP izazvati blackout
- Zaustavljanjem glavnog motora nastaje blackout sve dok se ne uključi jedan od glavnih generatora.

Prednosti:

- jeftinija proizvodnja električne energije zbog:
 - većeg stupnja korisnosti glavnog porivnog stroja
 - niže cijene goriva (HFO)
 - smanjenih troškova održavanja pomoćnih strojeva
- smanjenje težine el. centrale (nema pogonskog stroja)
- velika snaga osovinskog generatora
- smanjenje buke (kada ne rade pomoćni strojevi)

Četiri rješenja osovinskih generatora:

- Kombinacija s brodskim vijkom s prekretnim krilima
- Kombinacija s varijatorom (con-speed)
- Kombinacija s statičkim pretvaračem frekvencije
- Asinkroni generator

54. OSOVINSKI GENERATOR NA BRODU S BRODSKIM VIJKOM S PREKRETNIM KRILIMA (CPP)

- Generator je spojen direktno ili preko reduktora na osovinu glavnog stroja čiji regulator broja okretaja održava konstantan broj okretaja pa i konstantnu frekvenciju
- Poriv se mijenja promjenom koraka brodskog vijka.
- Moguć je i preket (vožnja unazad), ali se manevar s osovinskim generatorom ne prakticira iz razloga sigurnosti (u slučaju manevra naglog zaustavljanja dolazi do velikih oscilacija frekvencije i raspada elektroenergetskog sustava)
- Kod **teškog mora** zbog izranjanja brodskog vijka dolazi do sličnih problema pa se osovinski generator mora **isključiti** a okretaji motora smanjiti.
- Često je korištena izvedba s razdvajanjem sabirnice tako da u manevaru osovinski generator napaja samo pramčani porivnik kojemu konstantna frekvencija nije od velikog značaja

55. OSOVINSKI GENERATOR U KOMBINACIJI S VARIJATOROM (CON-SPEED)

Generator se spaja na osovinu glavnog stroja s brodskim vijkom s fiksnim krilima (FPP) preko varijatora koji kod promijenljivog broja osovine (70-100%) daje na osovini generatora konstantan broj okretaja.

Danas se koriste varijatori koji rade na mehaničko-hidrauličkim principima.

Nedostaci:

- komplicirano održavanje
- kvarovi

56. OSOVINSKI GENERATOR U KOMBINACIJI S STATIČKIM PRETVARAČEM FREKVENCije

- Generator se spaja na osovinu glavnog stroja direktno ili preko reduktora.
- Promjenom broja okretaja brodskog vijka (FPP) mijenja se i frekvencija generatora.
- Generator se električki spaja na mrežu preko posebnog elektroničkog uređaja - pretvarača frekvencije - koji na izlazu daje potpuno konstantnu frekvenciju i napon.

57. NAČINI UGRADNJE OSOVINSKIH GENERATORA

- **direktno na osovinski vod** (srednjehodni motori)
- **na reduktor propulzije** (srednjehodni motori)
- **direktno na stražnji dio glavnog stroja** (srednjehodni motori i vrlo rijetko sporohodni)
- **na stražnji dio glavnog stroja preko reduktora za povećanje broja okretaja** (sporohodni motori)

Generatori koji rade na malim okretajima moraju imati veliki promjer kako bi se postigla dovoljna obodna brzina za induciranje napona i mogao smjestiti veliki broj polova potreban za postizanje tražene frekvencije.

Ako nije ugrađena spojka za odvajanje osovinskog generatora a dođe do mehaničkog kvara na njemu glavni stroj privremeno ostaje izvan funkcije.

58. SPECIFIČNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODU

- **Otočni rad** (autonoman sustav koji mora podmiriti sve potrebe potrošnje koja se jako mijenja u različitim fazama eksploatacije)
- **Visoka pouzdanost i raspoloživost** jer ček i kratkotrajni raspad sustava može ozbiljno ugroziti sigurnost broda, tereta i posade (u manevaru, kod teških meteoroloških uvjeta)
- **Žilavost** (u slučaju havarije na dijelu elektro-energetskog sustava mora postojati mogućnost uspostave vitalnih funkcija broda u što kraćem vremenu)
- **Jednostavnost rukovanja i održavanja** (relativno niska stručnost posade, visoki troškovi i nedostupnost servisa)

59. BLACKOUT

Blackout je potpuni raspad elektroenergetskog sustava. Nastupa kada na glavnim sabirnicama nema napona a to znači da na njih nije priključen niti jedan generator. Zaustave se svi elektromotorni pogoni i glavni porivni stroj ide u shut down. Nakon 30-tak sekundi starta generator za nužnost i priključi se na sklopnu ploču za nužnost pa prorade sva njena trošila

uključujući kormilo i rasvjetu za nužnost. Kada se konačno uputi jedan od glavnih generatora odmah se, bez sinkronizacije, automatski ili ručno priključuje se na glavne sabirnice.

Svaki Blackout treba istražiti kako se ne bi ponovila ista greška. Na dobro vođenom brodu blackout je izuzetno rijetka pojava, i može nastati samo zbog iznenadnog nepredvidivog kvara.

60. ELEKTRIČNE INSTALACIJE (MREŽE) NA BRODU

- visokonaponska mreža (3,3 kV; 6,6 kV; 11 kV 60Hz)
- glavna niskonaponska mreža (440V 60Hz)
- niskonaponska mreža za nužnost (440V 60Hz)
- glavna mreža rasvjete (220V ili 110V 60Hz)
- mreža rasvjete za nužnost (220V ili 110V 60Hz)
- mreža pomoćnog sigurnosnog napona (24V DC)
- komunikacijska mreža
- signalna mreža

61. NEUZEMLJENI ELEKTRIČNI SUSTAV

- **Zvezdište generatora** nije spojeno na masu pa je cijeli električni sustav izoliran od trupa broda.
- Koristi se na gotovo svim brodovima s niskonaponskim elektroenergetskim sustavom.
- Masa broda se zbog parazitskih kapaciteta (kapacitet kabela i namota električnih uređaja prema masi) i simetričnosti sustava u normalnim uvjetima nalazi na potencijalu zvezdišta generatora.
- Kada dođe do **zemnog spoja** (spoja s masom) poteče struja koja se zatvara preko parazitskih kapaciteta pa je mala, a time je manja i opasnost od požara i oštećenja. To je osnovna prednost izoliranog sustava. Veličina struje zavisi od veličine ukupnog parazitskog kapaciteta a ovaj o veličini sustava i ne smije biti veća od **20A** jer bi tada opasnost od požara i oštećenja uređaja bila prevelika.
- Sustav koji je u spoju s masom može u cijelosti **nastaviti sa radom** sve dok ne dođe do drugog spoja s masom na drugoj fazi što tada predstavlja dvopolni kratki spoj.
- **Detekcija** spoja s masom vrši se pomoću posebnog uređaja koji automatski mjeri otpor izolacije i aktivira alarm. Signalizacija ide preko zemnospojnih lampi, a zatim preko MΩ metra.
- **Dulje trajanje spoja s masom** se ipak ne treba tolerirati jer je izolacija sustava (kabeli i uređaji) preopterećena $\sqrt{3}$ puta odnosno 73% jer je sada izložena linijskom a ne više faznom naponu. Predviđeno je da takvo stanje može trajati do 200 sati godišnje (pojačana izolacija).

Jednofazna trošila se spajaju na ploču rasvjete napajanu preko transformatora 440/220 ili 440/110V. Jednofazni potrošači napajaju se dakle sa dvije faze. Stoga se uključuju i štite s dvopolnim rasklopnim uređajima.

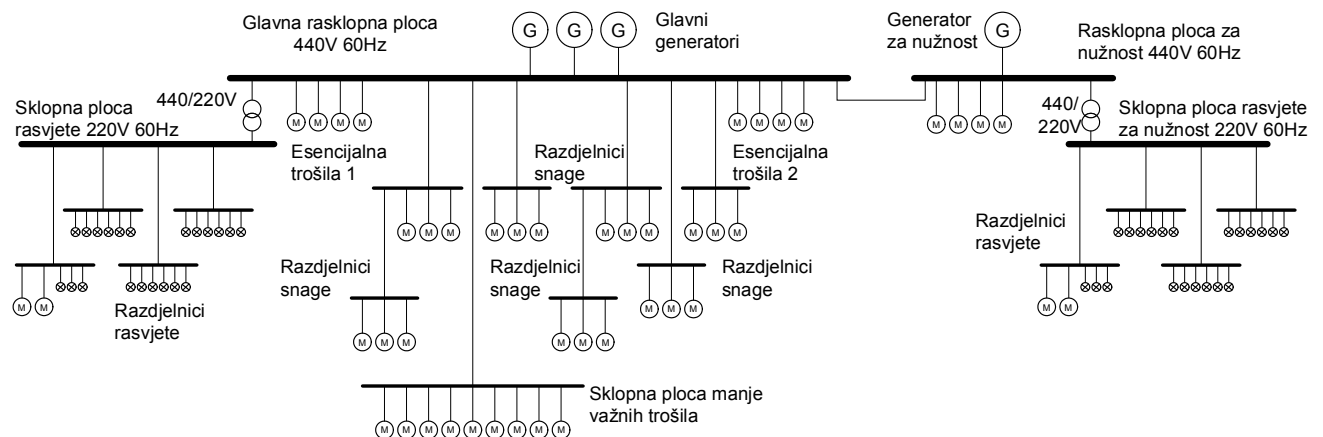
62. ELEKTRIČNI SUSTAV UZEMLJEN PREKO VELIKOG OTPORA

- **Zvezdište generatora je spojeno na masu (trup broda) preko velikog otpora**
- Ovom metodom eliminira se porast napona zdravih faza prema trupu kod zemnog spoja i koristi se uglavnom na visokonaponskim sustavima
- Generatori na brodovima sa visokim naponom najčešće imaju zvezdište uzemljeno preko velikog otpora. Pri tome je u svakom zvezdištu ugrađen prekidač jer samo jedan od generatora u radu smije biti spojen na masu.

Otpor između zvezdišta generatora i mase broda dimenzionira se tako da struja zemnog spoja ne pređe 20A. Poželjna je naravno čim manja struja ali ona ovisi o osjetljivosti zaštita koje moraju brzo isključiti dio mreže u spoju sa masom. Što su zaštite osjetljivije to su složenije i skuplje.

63. RAZVOD ELEKTRIČNE ENERGIJE

U pravilu se primjenjuje radijalna (zrakasta) shema razvoda koja se zrakasto širi od električne centrale (Glavne rasklopne ploče - GRP) prema potrošnji uz grananje u razdjelnicima snage i rasvjete. Prednosti su joj niska cijena, jednostavno održavanje i pronalaženje mjesta kvara.



64. SELEKTIVNOST ZAŠTITE OD KRATKOG SPOJA

Kratki spoj nastaje kada se zbog kvara ili ljudske pogreške, direktno ili preko mase dodirnu dva ili tri fazna vodiča (dvopolini ili trolni kratki spoj). Struja kratkog spoja ovisi o mjestu na kojem je nastao i to je snažniji što je bliži glavnoj

sklopnoj ploči odnosno generatorima. Najsnažniji kratki spojevi mogu razviti struju od 40 i više kA. Svaki kratki spoj treba što prije isključiti kako bi se spriječio veće oštećenje električnog sustava i pojava požara.

Selektivnost se primjenjuje kako bi se kod pojave kratkog spoja što prije isključio samo dio sustava u kvaru.

Selektivnost po vremenu

- krajnji prekidači (osigurači) izbacuju trenutno
- na svakom sljedećem nivou (bliže generatorima) dodaje se kašnjenje pri isključivanju prekidača od po 0,2s.
- zadnji isključuje generatorski prekidač koji ima i najveće podešeno kašnjenje.
- bliski kratki spoj ugrožava stabilnost sustava zbog pada frekvencije i napona

Selektivnost po struji

- Koristi se u mreži rasvjete i na manjim razdjelnicima snage
- Prije izbacuje osigurač (prekidač) s manjom nazivnom strujom

65. KABELI

Brodovi zavisno od veličine i namjene ukupno imaju 100 do 250 km energetskih, signalnih, upravljačkih i komunikacijskih kabela.

Karakteristike brodskih kabela:

- imaju **atest** Registra
- **dimenzioniraju se prema nazivnoj struji i padu napona** koji kod krajnjeg trošila ne smije biti veći od 5%.

Treba paziti:

- da ne dođe do **mehaničkog ili termičkog oštećenja**
- da **voda** ne uđe u kabel
- da su dobro **učvršćeni** (zbog habanja i velikih sila kod kratkog spoja)
- **signalni i komunikacijski kabe**li (osim optičkih) se nikada ne polažu uz energetske, a trase im se moraju sjeći pod pravim kutom.
- osigurati kvalitetno **brtvljenje** na prolascima kroz pregrade i palube, te na uvodnicama kroz koje ulaze u električne uređaje
- premda ne gore, kada se nađu u vatri svi kabeli stvaraju zagušujuće i gotovo uvijek **izuzetno otrovne smrtonosne plinove**.

2. kolokvij

66. ELEKTROMOTORNI POGONI PALUBNIH STROJEVA

Postoje dvije osnovne izvedbe:

Električna: elektromotor direktno ili preko mehaničkog prijenosa pogoni palubni uređaj. Elektromotor može biti pod palubom, na palubi ili ugrađen u bubanj vitla. Motori su potpuno zatvorene izvedbe i imaju ugrađene grijače, ali se ipak događa da u njih prodre vlaga pa ih treba sušiti. Dobro je poslije nevremena a svakako dan prije ulaska u luku provjeriti da li su ispravni. Najveća brzina ima najmanji moment pa nije pogodna za čupanje i dizanje sidra ili privlačenje broda. Motori su termički jako opterećeni. Koriste se: višebrzinski ili frekventno upravljani asinkroni motori. Zastarjele izvedbe su s kolutnim asinkronim motorima ili istosmjernim motorima u Ward-Leonardovom spoju ili napajanim iz statičkih ispravljača.

Elektro-hidraulička izvedba: Mnogo češća i primjerenija za veće brodove. Kavezni asinkroni motor u trajnom režimu (stalno uključen) pogoni hidrauličku pumpu. Upravljanje se izvodi otvaranjem i zatvaranjem ventila koji pune hidrauličke cilindre.

67. KORMILARSKI UREĐAJ

Postoje dva motora (jedan radi, a drugi je u rezervi). Dvostruko napajanje s dva kabela: sa glavne razvodne ploče i s ploče za nužnost (jedan kabel ide lijevom a drugi desnom stranom broda). Izbor motora i napajanja vrši se ručno na komandnom mostu. U slučaju blackouta treba preklopku prebaciti na generator za nužnost kako bi se moglo koristiti kormilo.

Do preopterećenja motora odnosno hidrauličkog sustava može doći ako je kod nemirnog mora na autopilotu postavljeno premalo dozvoljeno odstupanje od kursa pa kormilo previše radi.

Zaštita od preopterećenja ne isključuje motor već samo aktivira alarm (treba što prije uključiti drugu pumpu i isključiti preopterećeni motor). Zaštita od kratkog spoja isključuje motor. U slučaju nestanka napajanja ili kvara na motoru kormilo ostaje blokirano u istom položaju.

68. TERETNA VITLA

Elektromotori za pogon teretnog vitla su termički najopterećeniji motori jer tijekom prekrcaja obavljaju mnogo ciklusa (zalet, dizanje, zalet, kočenje) u kratkom vremenu (intermitirani režim rada), pa imaju pridodano i nezavisno hlađenje posebnim ventilatorom te ugrađenu termičku zaštitu koja isključuje motor kad se pregrrije. Predviđeno je i do 120 ciklusa na sat.

Vitlo je opremljeno i elektromagnetskom kočnicom koja se blokira kada se motor zaustavi ili nestane napajanja. Nakon povratka vitlo ne može krenuti ako se ručica na upravljačkoj konzoli najprije ne postavi u položaj 0. Teret se može spustiti i ručnim otpuštanjem kočnice.

69. BOČNI PORIVNICI

Pramčani i krmeni bočni porivnici eliminiraju korištenje remorkera. Omogućuju dinamičko pozicioniranje. Veliki potrošači jer im je snaga ponekad jednaka snazi jednog dizelgeneratora pa automatika blokira start ako na mreži nema dovoljno generatora. Problem predstavlja velika struja pokretanja. Ponekad se koriste zasebne sabirnice za pramčani propeler i osovinski generator u varijanti CPP

Za bočne porivnike koriste se sljedeći motori:

- Asinkroni kavezni sa autotransformatorom i zakretnim krilima (starta u nultom položaju pomoću indirektnih uputnika kako bi se ublažio veliki udarac struje. Nakon zaleta se poriv regulira zakretom krila).
- Asinkroni kavezni motor napajan iz pretvarača frekvencije s kontinuiranom regulacijom brzine (vrlo meki start s relativno malom strujom., kontinuirana regulacija okretaja)
- Višebrzinski asinkroni kavezni motor (starta samo u prvoj brzini, nerazumno česti zaleti mogu dovesti do preopterećenja)
- Kolutni asinkroni motori (zastarjelo rješenje, meki start uz malu struju)

70. BRODSKA RASVJETA

Mreže rasvjete:

- **Osnovna rasvjeta**
- **Rasvjeta za nužnost** (napaja se sa ploče za slučaj nužnosti, a osigurava 1/3 osnovne rasvjete)
- **Rasvjeta za nužnost-pomoćna rasvjeta** (napajanje iz akumulatora 24V, 110V ili 220V, ali se primjenjuju i autonomne svjetiljke s vlastitim akumulatorskim baterijama)

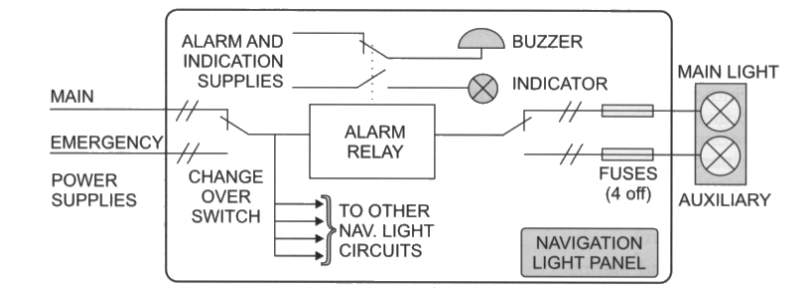
Kod malih brodova se ne ugrađuje generator za nužnost pa postoji samo rasvjeta za nužnost napajana iz akumulatora.

Rasvjeta u protueksplozijskoj izvedbi radi se s dva odvojena strujna kruga za svaku prostoriju s blokadom zbog održavanja.

Signalno-navigacijska svjetla:

- dvostruke sijalice (preklopka za prebacivanje na mostu)
- zvučna i svjetlosna signalizacija kvara (na mostu)
- napajanje iz glavne rasklopne ploče i rasklopne ploče za nužnost (preklopka za prebacivanje na mostu)

Svjetla za spašavanje s ultraljubičastim zračenjem (crna svjetla) idealna su za pronalaženje utopljenika **koji imaju reflektirajuće trake** jer prolaze kroz maglu bez refleksa. UV zračenje je jako opasno za oči i kožu!



Ploča navigacijskih svjetala

71. IZVORI SVJETLOSTI

Žarulje

- Svjetlost nastaje isijavanjem užarene volframove niti.
- Samo 5-15% dovedene energije se pretvara u vidljivo svjetlo.
- Svjetlosni tok se smanjuje tijekom eksploatacije zbog oksidacije i tanjenja niti i jako ovisi o naponu (5% veći napon povećava svjetlosni tok za 20% i smanjuje životni vijek na polovicu i obratno).
- Trajnost 1000 sati obične 2000 sati halogene.

Izvori svjetlosti s električnim pražnjenjem

- Izvori svjetlosti sa električnim pražnjenjem zrače svjetlost zbog električnog pražnjenja kroz plinove i/ili metalne pare.
- Baloni su najčešće punjeni natrijem ili živom. Kod puknuća balona dolazi do implozije ali i širenja otrovnih para i praha u okolni prostor. Stare lampe se zbrinjavaju kao opasan otpad.
- Korisnost je veća od 25%
- Trajnost do 20 000 sati
- Natrijeve lampe su najefikasnije ali daju monokromatsko žuto svjetlo na kojem se teško ili nikako ne razaznaju boje.
- Neke lampe treba prije paljenja dulje vrijeme zagrijavati. Takve se obično nakon gašenja ne mogu odmah ponovno upaliti već treba čekati 10 i više minuta.
- Stare fluorescentne lampe kojima je oštećen fluorescentni sloj (obično na krajevima) zrače opasnim UV zračenjem i mogu izazvati rak kože.
- Fluorescentne žarulje nisu ugodne za rad jer svjetlo malo treperi što oko ne primjećuje ali se umara.

III ELEKTRIČNA PROPULZIJA

72. PTO/PTI I POMOĆNA PROPULZIJA

PTO (Power take off) je klasičan osovinski generator koji uzima mehaničku energiju s osovine i pretvara je u električnu. **PTO/PTI** je osovinski generator koji može raditi i kao motor te tako brodskom vijku po potrebi dodavati energiju proizvedenu u brodskoj električnoj centrali. Koristi se za pomoćnu propulziju i/ili povećanje brzine broda. Električna energija dobivena u električnoj centrali iz dizel generatora koristi se dakle za poriv broda

73. IZVEDBE SUSTAVA ELEKTRIČNE PROPULZIJE

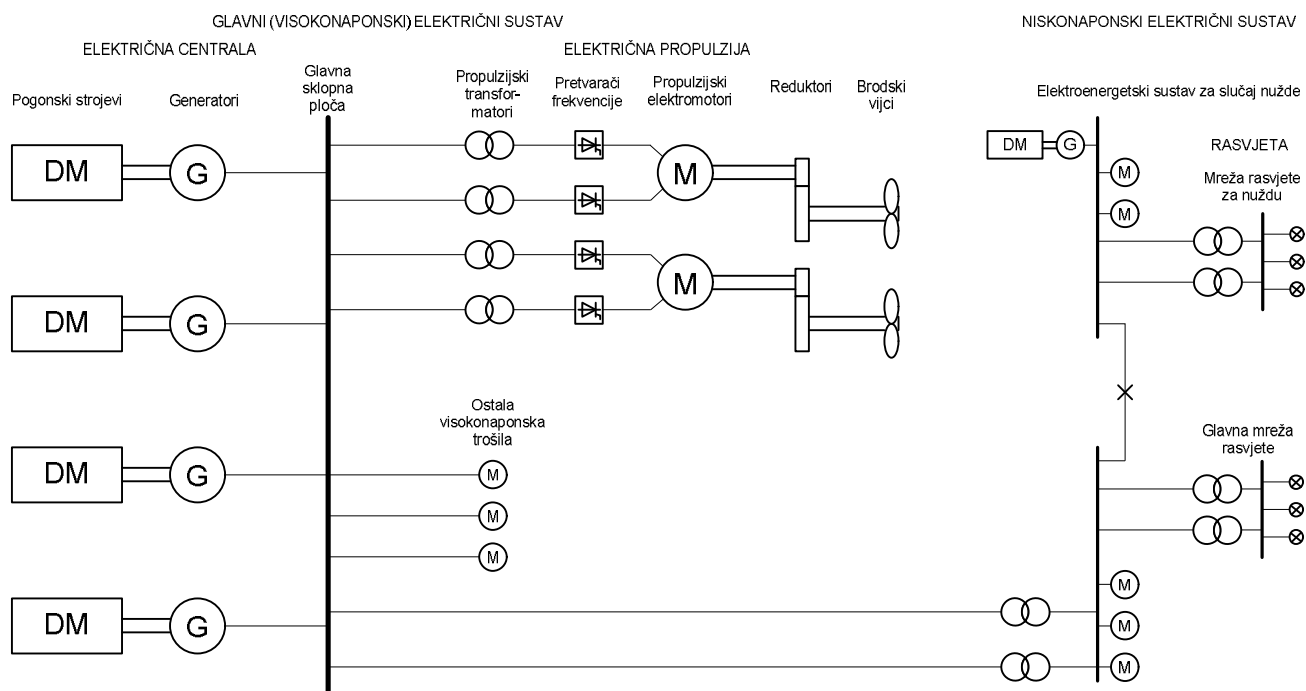
Pod električnom propulzijom se uobičajeno podrazumijeva elektromotorni pogon brodskog vijka. Preciznije se dijeli na:

- potpuno električnu propulziju (podmornice, turističke eko-brodice)
- propulziju s električnim prijenosom (dizel-električna, turbo-električna (plinske i parne turbine))

74. POTPUNO INTEGRIRANI ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

Danas gotovo isključivo koristi koncepcija **potpuno integriranog elektroenergetskog sustava** (IFEP - Integrated Full Electric Ship). To znači da postoji samo jedan elektroenergetski sustav koji ima konstantnu frekvenciju i napon mreže, a pokriva električnu propulziju ali i svu ostalu potrošnju električne energije na brodu. Postoje dvije izvedbe. Pretežno se koristi

1. izvedba s brodskim vijkom s fiksnim krilima (FPP) uz regulaciju broja okretaja propulzijskih elektromotora pomoću statičkih pretvarača frekvencije, dok je uglavnom napuštena
2. izvedba s brodskim vijkom s prekretnim krilima CPP uz konstantan broj okretaja propulzijskog elektromotora



Primjer konfiguracije objedinjenog brodskog elektroenergetskog sustava s potpuno integriranim sustavom propulzije

75. PROPULZIJSKI PRETVARAČI FREKVENCIJE

Propulzijski pretvarači frekvencije su uređaji energetske elektronike koji omogućuju kontinuiranu regulaciju frekvencije i napona za napajanje propulzijskih elektromotora i na taj način regulaciju njihovog broja okretaja. Danas su u upotrebi četiri vrste propulzijskih pretvarača frekvencije: ciklokonverter, sinkrokonverter, širinsko impulsno moduluirani (PWM) pretvarač s diodnim ispravljačem i širinsko impulsno moduluirani pretvarač s aktivnim mrežnim mostom. Razlike između pretvarača u pogledu manevarskih svojstava su zanemarive. S druge strane svi pretvarači frekvencije kvare kvalitetu napona brodske mreže i tako utječu na rad svih brodskih električnih uređaja (ciklokonverter je najgori jer se njegovi harmonici ne mogu filtrirati, a sinkrokonverter zahtijeva snažne harmoničke filtre od kojih barem jedan mora biti stalno uključen. Posebno je teško kada se vozi sa samo pola motora (Half motor operation) jer su tada izobličenja mrežnog napona mnogo veća. PWM s aktivnim ispravljačem se danas smatra najboljim rješenjem.

76. PREDNOSTI ELEKTRIČNE PROPULZIJE

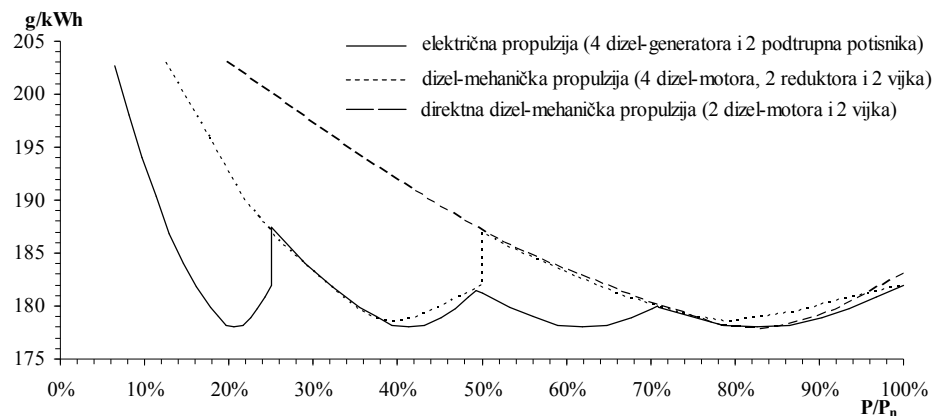
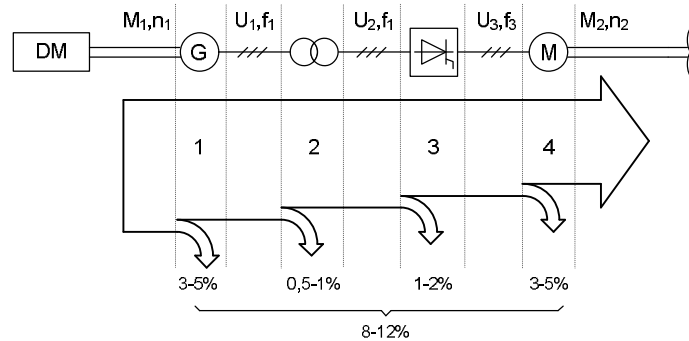
- povećanje i povoljniji raspored korisnog brodskog prostora
- mnogo bolje manevarske sposobnosti
- manja potrošnja goriva
- velika snaga centrale za napajanje ostalih tehnoloških sustava
- visoka raspoloživost poriva
- prijenos vrlo velike snage na brodski vijak
- manja emisija štetnih plinova
- manja buka i vibracije

- jednostavna redukcija broja okretaja i reverziranje poriva

77. SMANJENJE POTROŠNJE GORIVA PRIMJENOM ELEKTRIČNE PROPULZIJE

Iako ima ukupno 8-12% gubitaka energije u konverziji i prijenosu u odnosu na 2-4% kod direktne mehaničke propulzije električna propulzija ipak štedi gorivo jer omogućuje:

- rad pogonskih strojeva s konstantnim okretajima u području oko optimalnog opterećenja kod svih brzina broda (postiže se uključivanjem odgovarajućeg broja agregata)
- veći hidro-dinamički stupanj korisnosti zbog:
 - povoljniji položaj vijka
 - povoljniji nagib vijka
 - veći promjer vijka
 - primjena podtrupnih porivnika (POD, AZIPOD)



78. POVEĆANJE KORISNOG BRODSKOG PROSTORA PRIMJENOM ELEKTRIČNE PROPULZIJE

- smanjenjem strojarnice korištenjem brzih dizel-motora i plinskih turbina za pogon generatora umjesto sporohodnih motora za direktnu dizel-mehaničku propulziju
- povoljnijim smještajem pogonskih strojeva unutar jedne ili više proizvoljno raspoređenih manjih strojarnica zahvaljujući potpunoj slobodi koju daje električni prijenos snage.



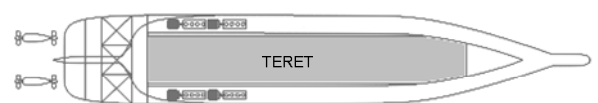
a) Direktna dizel-mehanička propulzija



b) Dizel-mehanička propulzija s reduktorima



c) Električna propulzija s ugrađenim propulzijskim elektromotorima



d) Električna propulzija s podtrupnim potisnicima

79. POVEĆANJE MANEVARSKIH SVOJSTAVA BRODA PRIMJENOM ELEKTRIČNE PROPULZIJE

- momentne karakteristike s konstantnim maksimalnim momentom
- manje zamašne mase izložene promjeni brzine kod dinamičkih promjena
- rad pogonskih strojeva s konstantnim brojem okretaja
- jednostavno povezivanje u sustav dinamičkog pozicioniranja
- jednostavna instalacija snažnih pramčanih i krmnih bočnih porivnika
- jednostavnija izvedba dinamičkog pozicioniranja

Zakretni podtrupni porivnici (AZIPOD) imaju dodatne prednosti:

- sposobnost zakretanja ravnine vijka

- manje zamašne mase
- veliki krmeni bočni poriv bez krmenih bočnih porivnika
- znatno manji radijus okretanja pri punoj brzini (40% manji)
- kraći zaustavni put broda (45% kraći)

80. EKOLOŠKE PREDNOSTI ELEKTRIČNE PROPULZIJE

- smanjenje potrošnje goriva
- smanjenje emisije štetnih plinova
- smanjenje buke i vibracija
- povećanje sigurnosti broda
- izbjegavanje sidrenja
- produljenje eksploatacijskog vijeka broda.

81. SMANJENJE BUKE I VIBRACIJA PRIMJENOM ELEKTRIČNE PROPULZIJE

- korištenje manjih srednjohodnih ili brzohodnih dizel-motora i plinskih turbina
- povoljniji smještaj dizel-motora
- eliminaciju reduktora
- smanjenje torzijskih vibracija na brodskom vijku zbog mirnog rada propulzijskog elektromotora.

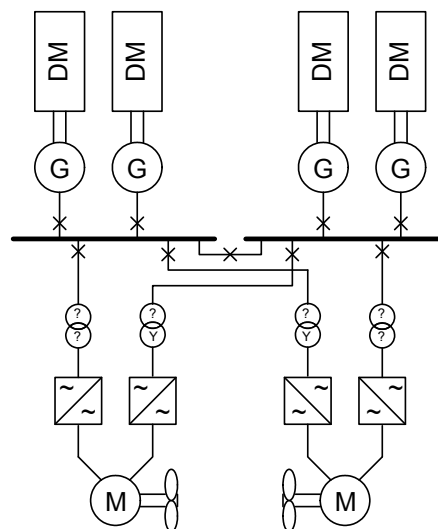
Dodatno smanjenje buke i vibracija primjenom podtrupnih porivnika:

- eliminacija dugačkih osovinskih vodova
- povećanje razmaka između oboda vijka i trupa.

82. POVEĆANJE SIGURNOSTI PRIMJENOM ELEKTRIČNE PROPULZIJE

Električna propulzija povećava sigurnost broda kroz:

- **visok stupanj raspoloživosti pogona broda** (otkazivanje jedne pa i više komponenti u sustavu ne ostavlja brod bez pogona već se samo smanjuje snaga propulzije)
- **bolja manevarska svojstva**
- **manju opasnost od požara širih razmjera** (više odvojenih strojarница)



IV AUTOMATIKA

83. KLASA AUTOMATIZACIJE BRODSKE STROJARNICE

AUT1 (UMS) – Oznaka za nenadgledanu strojarницу što znači da automatika osigurava automatski rad brodske strojarнице bez čovjeka u strojarници i upravljačkoj prostoriji strojarнице (bez straže). Cijeli proces mora biti potpuno automatiziran i obuhvaća sustave:

- automatskog upravljanja glavnim motorom
- nadzora i alarma
- automatike elektroenergetskog sustava
- detekcije požara
- automatike pomoćnih strojeva i kotlova

U slučaju otkazivanja sustava ili izlaženja kontroliranih veličina izvan dozvoljenih granica oglašava se alarm u kabinama, na mostu i u zajedničkim prostorijama. Po potrebi se automatski uključuju u rad rezervni sustavi (st.by). Postoji automatska kontrola ispravnosti sustava upravljanja, zaštite i alarma pogonskih strojeva, kao i vatrodavnog i kaljužnog sustava.

Ako brod zbog kvara izgubi klasu AUT1 mora zadovoljavati klasu AUT2.

AUT2 – Oznaka za daljinsko upravljanje iz upravljačke prostorije (obvezatna straža). Osim svih potrebnih upravljačkih komandi potrebno je osigurati i očitavanje potrebnih mjerenja zbog informacija o stanju procesa kao i alarmni sustav. Mora biti osigurano pouzdano prebacivanje s automatskog na ručno upravljanje a ono mora funkcionirati bez obzira na neispravnost daljinskog i automatskog upravljanja.

AUT3 – Oznaka za automatsko daljinsko upravljanje s mosta (najčešće nema upravljačke prostorije). Primjenjuje se za manje plovne jedinice, u pravilu do 1500kW, koje imaju esencijalne pumpe privještene na glavni motor, jednostavnu električnu centralu, bolju instrumentacija na mostu i malu udaljenost između strojarnice i mosta). Svi uređaji u strojarnici su predviđeni za rad bez nadzora. Predviđena su kratkotrajna posluživanja u intervalima ne kraćim od 12 sati.

84. VRSTE AUTOMATIKE PREMA POGONSKOJ ENERGIJI

Električna automatika (jeftina, jednostavna ugradnja, rukovanje i održavanje, osjetljiva na vlagu i elektromagnetske smetnje, opasnost od eksplozije) može biti analogna i digitalna. **Analogna** pretvara mjerene veličine u istosmjernu električnu struju ili napon koji su po veličini proporcionalni mjerenoj vrijednosti. **Digitalna** elektronika mjerenu veličinu ne mjeri kontinuirano već u određenim vremenskim intervalima (što kraćim to bolje) i pretvara je u diskretne numeričke vrijednosti prikazane u binarnom obliku. Digitalna automatika je otpornija na elektromagnetske smetnje od analogne, a u slučaju prijenosa informacija optičkim kabelima i potpuno imuna.

Pneumatska automatika (skupa, komplicirana ugradnja i održavanje, otporna na smetnje i vlagu – ali ne ako vlaga uđe u sistem) Još uvijek se često koristi u zoni 0 opasnosti od eksplozije.

Hidraulička automatika (skupa, komplicirana ugradnja i održavanje, otporna na vlagu i smetnje, **velika snaga**,)

85. DALJINSKO UPRAVLJANJE, MJERENJE I SIGNALIZACIJA

Daljinsko upravljanje omogućuje posadi da direktno upravlja brodskim procesima s jednog ili više udaljenih mjesta. Npr. Upravljanje glavnim motorom iz upravljačke prostorije i s mosta. Da bi se moglo daljinski upravljati potrebne su i informacije o procesima kojima se upravlja odnosno daljinsko mjerenje i signalizacija. Veliki broj ugrađenih senzora raspoređenih po cijelom brodu daje informacije koje se na upravljačkim mjestima mogu očitati kao pokazivanja instrumenata ili svjetlost žaruljica. Daljinsko upravljanje je izuzetno značajno za sigurnost broda i mora funkcionirati brzo i bez ograničenja. Suvremeni sustavi **automatskog daljinskog upravljanja** filtriraju komande i izvršavaju samo one koje su usklađene sa stanjem i mogućnostima sustava kojim se upravlja, te na taj način štite sustav od pogreške ili nesavjesnog rukovanja. Npr. upravljanje glavnim motorom je ograničeno limitima temperature i momenta, pa se hladni motor ne može odmah maksimalno opteretiti jer to automatika ne dozvoljava. Bez obzira što je dana komanda svom snagom naprijed, automatika pomalo dozira gorivo sve dok se motor polako ne zagrije na temperaturu kod koje može bez opasnosti razviti punu snagu. Časnik na mostu može u svakom trenutku preći na direktno daljinsko upravljanje bez ograničenja pritiskom na „Emergency Run“ odnosno „Crash Manoeuvre“.

86. AUTOMATSKI NADZOR

Dok se pod daljinskim mjerenjem uglavnom podrazumijeva očitavanje izmjerenih veličina na instrumentima postavljenim na udaljenim mjestima, kod automatskog nadzora je riječ o računalnom sustavu koji sakuplja, obrađuje i pregledno (uglavnom na monitoru) prezentira sve informacije dobivene od senzora. Nadzorni sustav ima i funkciju registracije vrijednosti i događaja. Sustav automatskog nadzora može biti **centraliziran** (svi signalni kabeli se od senzora vuku do upravljačke prostorije i priključuju na jedno računalo), **distribuiran** (podsustavi koji bi trebali biti raspoređeni po strojarnici, ali su vrlo često opet smješteni u upravljačku prostoriju, sakupljaju informacije o određenim procesima ili grupama procesa i zatim podatke transferiraju centralnoj upravljačko-nadzornoj jedinici). Danas se sve više koriste **digitalni inteligentni senzori** koji sami signal digitaliziraju te ga preko računalne mreže s električnim ili optičkim komunikacijskim kabelima prosljeđuju nadzornom i alarmnom sustavu.

87. ALARMNI SUSTAV

Svrha alarmnog sustava je da upozori posadu kada se neki od brodskih procesa više ne odvija u granicama dozvoljenih parametara (npr. previsoka temperatura rashladne vode, preopterećenje kormila, pregorijevanje žarulje navigacijskog svjetla ...) ili je iz nekih drugih razloga došlo do opasnosti za brod, teret ili posadu (opasnost od sudara, požar, prodor vode...). Vrijednosti kod kojih će se javiti neki alarm podešene su tako da se alarm javi prije nego kontrolirana veličina dođe do vrijednosti na kojoj proradi zaštita. Alarmi mogu biti podešeni na nisku vrijednost (donju granicu), visoku vrijednost (gornju granicu) ili na nisku i visoku vrijednost. Mnogi alarmi imaju namješteno vremensko kašnjenje koje privremeno blokira alarm i ako se kontrolirana vrijednost vrati u granice normale onda se alarm uopće ne aktivira (npr. prilikom ljuljanja broda očitavanja nivoa u tankovima se neprestano mijenjaju i pokazuju čas previsoku a čas prenisku vrijednost, ali se brzo vraćaju u normalu). Alarmi se najčešće aktiviraju prekidačkim osjetnicima (ON-OFF), a sustav u pravilu funkcionira tako da se alarmi aktiviraju kad dođe do prekida kontakta odnosno strujnog kruga. Na taj način se ujedno neprekidno kontrolira i ispravnost strujnog kruga alarma, jer bi svaki prekid u strujnom krugu prouzročio alarm i tako upozorio posadu da provjeri najprije stanje mjerene veličine a zatim i ispravnost strujnog kruga aktiviranog alarma. Alternativno se može koristiti aktiviranje kontakta kod zatvaranja kontakta na senzoru, ali su u tom slučaju kontakti na senzoru prespojeni otpornikom kroz kojeg stalno teče mala struja kojom se kontrolira ispravnost strujnog kruga.

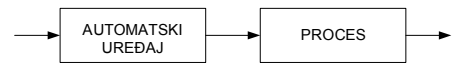
88. ZAŠTITE

Zaštite štite brodske uređaje i sustave u situacijama kada kontrolni parametri pokazuju da su isti u neposrednoj opasnosti od prekomjernog trošenja ili havarije. Npr. ako je pritisak ulja za podmazivanje motora prenizak jasno je da će ubrzo doći do zaribavanja i ogromne štete pa se motor mora odmah isključiti. Na brodskim sustavima senzori aktiviraju zaštite zatvaranjem kontakata, kako prekid strujnog kruga ne bi bezrazložno isključio uređaj. Prorada zaštite ne može dakle biti pogrešna ili upozoravajuća kao što je to riječ kod prorade alarma već uvijek nastupa kao jedina mogućnost za spašavanje uređaja koji je isključen od havarije. Kada je riječ o glavnom motoru časnik na mostu može u svakom trenutku premostiti (anulirati, blokirati proradu) zaštite i ograničenja daljinskog upravljanja kako bi u slučaju potrebe mogao dobiti maksimalne raspoložive mogućnosti stroja imajući na umu da ga tako može u vrlo kratkom vremenu ozbiljno oštetiti. Ovu odluku

(Emergency Run, Crash Manoeuvre) automatika unosi u zapisnik (log) koji nije moguće izmijeniti, a koristi se kod utvrđivanja odgovornosti za havariju stroja.

89. AUTOMATSKO UPRAVLJANJE

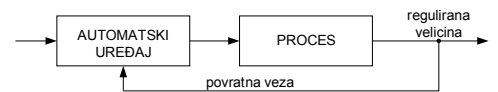
Automatsko upravljanje je kontrola procesa u otvorenom krugu što znači da automatski uređaj koji vrši upravljanje ne dobiva povratnu informaciju o parametru na koji posredno djeluje (izlazna veličina).



Primjenjuje se u procesima kod kojih je moguće dovoljno točno predvidjeti ponašanje sustava kojim se upravlja. Npr. automatski zvijezda-trokut uputnik asinkronog motora, nakon što je od uključivanja motora u spoju zvijezda prošlo određeno podešeno vrijeme, prespaja motor u trokut bez ikakve informacije o tome da li je zalet u zvijezdi završen. Podešeno vrijeme je naravno dovoljno dugo za zalet u zvijezdi ako je elektromotorni pogon ispravan i opterećen u granicama normale.

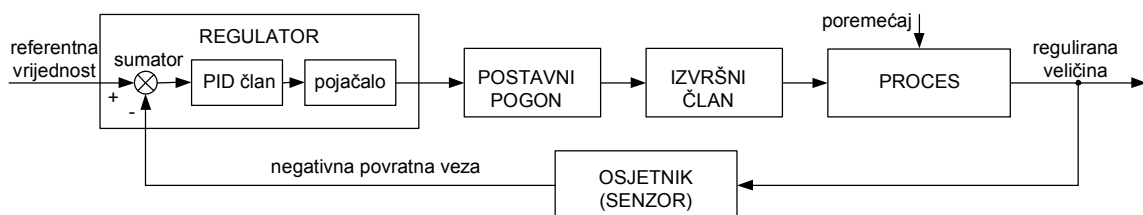
90. AUTOMATSKA REGULACIJA

Automatska regulacija je kontrola procesa u zatvorenom krugu što znači da automatski uređaj koji vrši upravljanje dobiva povratnu informaciju o parametru na koji posredno djeluje (izlazna veličina). Primjenjuje se u procesima kod kojih nije moguće dovoljno točno predvidjeti ponašanje sustava kojim se upravlja. Npr. autopilot dobiva od giro-kompasa podatak o kursu broda i uspoređuje ga sa zadanom veličinom (željenim kursom) određuje odstupanje i zatim djeluje na zakretanje lista kormila radi korekcije kursa.



91. REGULACIJSKI KRUG

Regulacijski krug se sastoji od: regulatora, postavnog pogona, izvršnog člana, objekta regulacije (proces) i osjetnika (senzora). Osjetnik mjeri vrijednost regulirane veličine (npr. temperature rashladne vode) i pretvara je u određenu vrijednost (napon, struja, pritisak) medija na kojem je zasnovana regulacija. Ta se vrijednost dovodi u regulator pa se u njemu najprije u sumatoru uspoređuje s referentnom vrijednosti (željena vrijednost temperature). Dobiveni signal razlike dolazi na PID član koji ga obrađuje uzimajući u obzir veličinu odstupanja od reference i brzinu kojom se odstupanje povećava. Dobiveni signal se pojačava u pojačalu, izlazi iz regulatora i dovodi se na postavni pogon (elektromotorni, pneumatski ili hidraulički pogon ventila) koji pomiče izvršni član (zakreće ventil) i na taj način utječe na proces (omjer miješanja ohlađene i neohlađene vode) zbog čega se regulirana veličina promijeni, pa se mijenja i povratna veza a regulator dobiva nove podatke.



92. VRSTE REGULACIJE

- **stabilizacijska** (regulator održava konstantnu vrijednost regulirane veličine, npr. temperature vode, usprkos poremećajima)
- **sljedna** (referentna vrijednost se stalno mijenja i regulator nastoji u što kraćem vremenu dovesti reguliranu veličinu na referentnu vrijednost npr. kod kormilarenja čovjek ili autopilot zadaju otklon kormila, a sljedni regulacijski krug kontrolira približavanje kormila zadanom položaju kako bi ga što prije zauzelo)
- **programska** (regulirana veličina se mora mijenjati prema unaprijed utvrđenom programu (npr. proces hlađenja ili odmrzavanja tereta)
- **adaptivna** regulacija podrazumijeva primjenu elektroničkog računala koje automatski korigira postavke regulatora kako bi se u promjenljivim okolnostima postigla što kvalitetnija regulacija (npr. dinamičko pozicioniranje broda u različitim vremenskim uvjetima).

93. POKAZATELJI KVALITETE REGULACIJE

- **Točnost regulacije** definirana je **statičkom greškom** a odnosi se na odstupanje regulirane veličine od referentne vrijednosti u stacionarnom stanju (kada dulje vrijeme nema nikakvih promjena ni poremećaja)
- **Brzina odziva** pokazuje koliko je vremena potrebno da se regulirana veličina nakon poremećaja vrati u zadane okvire.
- **Stabilnost** regulacijskog kruga pokazuje da li će se nakon poremećaja regulirana veličina smiriti (**stabilan sustav**), nastaviti oscilirati oko referentne vrijednosti ne povećavajući amplitudu (**sustav na granici stabilnosti**) ili će oscilirati sa sve većom amplitudom dok ne prorade zaštite ili dođe do oštećenja sustava (**nestabilan sustav**).

94. PID ČLAN

PID (Proporcionalno-Integrabilno- Derivacijski) član je najvažniji dio regulatora, tako da i regulatori dobivaju ime po njegovom podešenju odnosno izvedbi.

P-regulator ima samo proporcionalno (P) djelovanje što znači da je izlazni signal proporcionalan signalu razlike (odstupanju od referentne vrijednosti). Osnovni nedostatak je što takav regulator nikada, pa niti u stacionarnim uvjetima, ne ostvaruje referentnu vrijednost odnosno **nedostaje mu točnosti**.

PI-regulator pored proporcionalnog djelovanja ima i integracijsko (I) koje pojačava izlazni signal iz regulatora zavisno od brzine kojom se mijenja regulirana veličina. Što je promjena sporija to je pojačanje signala razlike veće, pa se u stacionarnom stanju i sasvim malo odstupanje od referentne veličine snažno pojačava omogućujući regulatoru da i tada djeluje i postigne referentnu veličinu. Integracijsko djelovanje daje regulatoru **točnost**, odnosno eliminira statičku grešku. Kod velikih brzina promjene signala razlike integracijsko djelovanje nije aktivno pa se regulator ponaša samo u skladu s P djelovanjem odnosno kao P-regulator.

PD-regulator se koristi u regulacijskim krugovima kod kojih nije važna točnost regulacije ali je izuzetno važna **brzina odziva** odnosno njenog djelovanja. Derivacijsko djelovanje (D) je suprotno od integracijskog, jer ne djeluje kod sasvim sporih promjena, a kod vrlo brzih promjena signala razlike daje veliko pojačanje kako bi regulator što prije reagirao i spriječio pojavu velikog odstupanja od referentne vrijednosti kod npr. naglog poremećaja.

PID- regulator objedinjuje prednosti PI i PD regulatora i prema tome daje veliku točnost i veliku brzinu odziva.

Podrešenje PID- člana ima presudan utjecaj na stabilnost regulacijskog sustava. Pojačavanjem P, I i D djelovanja postiže se bolja kvaliteta regulacije, ali se istovremeno sustav približava nestabilnosti. Pri tome je najopasnije derivacijsko, pa integracijsko i konačno najmanje opasno je proporcionalno djelovanje.