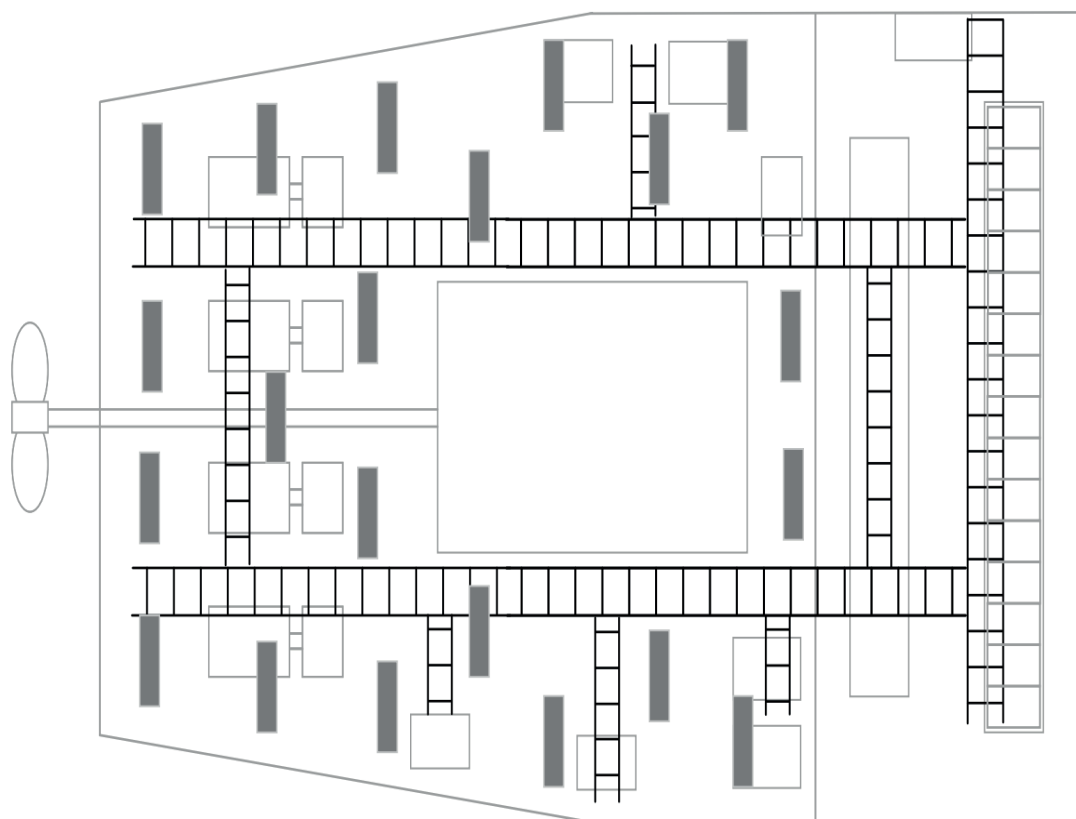




EduSplit Obrtna tehnička škola
Regionalni centar kompetentnosti Split

ELEKTRIČNI SUSTAVI NA PLOVILIMA

Priručnik za program obrazovanja električni sustavi na plovilima



Ivica Lovrić

Ivica Lovrić

ELEKTRIČNI SUSTAVI NA PLOVILIMA

Priručnik za program obrazovanja električni sustavi na plovilima



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost Obrtne tehničke škole Split



EduSplit Obrtna tehnička škola
Regionalni centar kompetentnosti Split

Ivica Lovrić

ELEKTRIČNI SUSTAVI NA PLOVILIMA

Priručnik za program obrazovanja električni sustavi na plovilima

Split, 2023.

Autor: Ivica Lovrić, mag. ing. elektrotehnike
Urednik: Igor Koletić, mag. ing. mech. (za ALGEBRA d.o.o.)
Naslov: **Električni sustavi na plovilima**
Fotografija naslovnice: Freepik
Recenzentica: dr.sc. Maja Krčum
Lektorica: Petra Mišković Milavec, mag. educ. philol. croat.
Grafičko oblikovanje: ALGEBRA d.o.o.
Nakladnik: Obrtna tehnička škola Split
Odgovorna osoba: ravnatelj Milivoj Kalebić
Za nakladnika: ALGEBRA d.o.o.

Više informacija:

Obrtna tehnička škola Split
Plančićeva 21
21000 Split
e-pošta: ured@ss-obrtna-tehnicka-st.skole.hr
mrežna adresa: edusplit.eu

ISBN: 978-953-8537-02-8

**Regionalni centar kompetentnosti Obrtne tehničke škole
Split, 2023.**

Obrtnička tehnička škola, Plančićeva 21, 21000 Split, OIB: 43651407703, nositelj je isključivog prava iskorištavanja ovog autorskog djela, prostorno, vremenski i sadržajno neograničeno, a koje pravo obuhvaća imovinska prava autora i to osobito, ali ne isključivo, pravo reproduciranja (pravo umnožavanja), pravo distribuiranja (pravo stavljanja u promet), pravo priopćavanja autorskog djela javnosti te pravo prerade. Pojedina imovinska autorska prava treća osoba može steći isključivo na temelju pisane suglasnosti Obrtničke tehničke škole.

Sadržaj

1. BRODSKI ELEKTROENERGETSKI SUSTAV	11
1.1. Povijest elektrifikacije broda	12
1.2. Općenito o brodskom elektroenergetskom sustavu.....	13
1.3. Posebni zahtjevi za brodski elektroenergetski sustav	14
1.4. Općenito o brodskim sustavima	15
1.5. Bilanca električne energije na brodu	15
1.6. Vježba 1 – energetska bilanca broda	18
2. BRODSKA ELEKTRIČNA MREŽA	19
2.1. Općenito o brodskoj električnoj mreži	20
2.2. Brodski kabeli.....	23
2.3. Transformatori	25
2.4. Brodske sklopne ploče	26
2.4.1. Glavna rasklopna ploča.....	26
2.4.2. Pomoćna rasklopna ploča	32
2.4.3. Razdjelnici snage i rasvjete.....	33
2.5. Električne zaštite brodskog ees-a.....	34
2.6. Upravljanje i automatika brodskog ees-a.....	34
2.7. Ugradnja i ispitivanje sustava za prijenos i razdiobu električne energije na brodu.....	35
2.7.1. Vježba 2 – Postavljanje brodskih kabela	36
2.7.2. Vježba 3 – Priprema kabela za spajanje	36
2.7.3. Vježba 4 – Spajanje kabela.....	37
2.7.4. Vježba 5 – Jednopolna shema grp-a	38
2.7.5. Vježba 6 – Priprema kabela za postavljanje.....	41
3. BRODSKI GENERATORI	45
3.1. Vrste generatora na brodu.....	46
3.1.1. Dizelski generatori	46
3.1.2. Osovinski generatori	48
3.1.2. Pomoćni generator.....	50
3.2. Zaštita generatora	50
3.3. Upravljanje i automatika generatora.....	52
3.3.1. Upravljanje pomoćnim motorom	52
3.3.2. Regulacija dizelskog generatora	52
3.3.3. Paralelan rad generatora	54
3.4. Ugradnja i ispitivanje sustava za proizvodnju električne energije na brodu.....	56
3.4.1. Vježba 7 – Spajanje elemenata automatskog sustava	57

3.4.2. Vježba 8 – Ispitivanje i puštanje u rad automatskog sustava	58
3.4.3. Vježba 9 – Spajanje generatorskih kabela	59
3.4.4. Vježba 10 – Generatorski prekidač.....	60
4. ELEKTRIČNI POTROŠAČI NA BRODU	63
4.1. Elektromotorni pogoni brodskih sustava.....	64
4.1.1. Električna propulzija	65
4.1.2. Bočni propeler.....	66
4.1.3. Elektromotorni pogoni ostalih brodskih sustava	66
4.1.4. Zaštita i upravljanje elektromotora.....	67
4.2. Električna rasvjeta na brodu.....	71
4.3. Ostali električni potrošači na brodu.....	73
4.3.1. Trošila s električnim grijačima.....	73
4.3.2. Akumulatorske baterije	73
4.4. Ugradnja i ispitivanje sustava električnih potrošača na brodu.....	76
4.4.1. Vježba 11 – Izgradnja uputnika elektromotora	77
4.4.2. Vježba 12 – Ispitivanje i puštanje u rad elektromotora.....	79
4.4.3. Vježba 13 – Otklanjanje kvara u uputniku	80
4.4.4. Vježba 14 – Brodske svjetiljke	81
4.4.5. Vježba 15 – Brodski požarni alarm	83

Predgovor

U svijetu koji se više ne može razumjeti samo opažanjem i logičkim zaključivanjem, već je sve određeno strogim pravilima struke koja je potrebno naučiti, ovaj priručnik nudi osnovne informacije o električnim sustavima na plovilima potrebne za razumijevanje rada tih sustava i plovila u cijelosti te praktične vježbe za stvaranje početnog stupnja vještina za izgradnju, ispitivanje i održavanje navedenih sustava. Priručnik je namijenjen osobama s prethodnim kvalifikacijama razine 4,1 i 4,2 iz područja elektrotehnike.

Učenje kroz rad, najučinkovitiji način učenja danas, u kojem informacije koje vidimo, čujemo, raspravimo, ujedno i upotrijebimo kroz rad, primijenjeno je u ovom priručniku na način da se na kraju svakog poglavlja nalaze praktične vježbe koje su isprepletene s prethodnim teorijskim dijelom te ga nadopunjuju i s njime zaokružuju cjelinu. Vježbe su predviđene isključivo za izvođenje u specijaliziranoj učionici Obrtne tehničke škole Split uz obavezno poštivanje svih važećih propisa kojima je regulirano korištenje i rad s električnom energijom te mjera za rad na siguran način. Sva oprema i električni sustavi korišteni u vježbama trebaju biti izvedeni u skladu s navedenim propisima, a vježbe održavane pod vodstvom stručne osobe.

Priručnik je koncipiran tako da na početku daje opći uvid u elektroenergetski sustav broda, a potom obrađuje pojedinačno glavne dijelove navedenog sustava; električnu mrežu kao najrazgranatiji podsustav na brodu, zatim brodske generatore kao najvažnije dijelove tog sustava te na kraju električne potrošačem koji su i svrha postojanja samog broskog elektroenergetskog sustava.

Gradivo priručnika obuhvaća najsloženija plovila kao što su brodovi s električnom propulzijom, a pojednostavljivanjem sustava dolazi se do jednostavnih plovila koja u konačnici mogu imati samo baterije kao izvor električne energije i svega nekoliko potrošača. U svakom slučaju, svi glavni električni sustavi današnjih brodova obuhvaćeni su, osim sustava na brodovima za specijalne namjene, što i nije bila tema ovog priručnika.

Trendovi automatizacije i održivih tehnologija zahtijevaju kompleksnije sustave u električnom smislu, tako da će brodovi u budućnosti biti opremljeni s još više električnih strojeva i uređaja te imati još razgranatiju kabelsku mrežu. Sve te sustave potrebno je izgraditi, ispitati, održavati, a za to će još dugo vremena biti nezamjenjivo ljudsko znanje i vještina. Stoga ovaj priručnik započinje informacijama iz davne 1880. godine, a kraj ostavlja otvoren za buduće tehnologije koje će se implementirati u brodske električne sustave kao što su solarna energija, možda ponovno energija vjetra, vodikove gorive ćelije, umjetna inteligencija, autonomna plovidba i tko zna što još.

Autor

1

POGLAVLJE

BRODSKI ELEKTRO- ENERGETSKI SUSTAV

Nakon ovog poglavlja moći ćete:

- opisati elektroenergetski sustav broda.

1.1. Povijest elektrifikacije broda

Nakon završetka duge ere u kojoj su vjetar i jedra predstavljali primarni pogon broda, tu zadaću u 19. stoljeću preuzima parni stroj i brodski vijak. Kraj 19. stoljeća predstavlja period revolucionarnih izuma iz područja elektrotehnike tako da na tu činjenicu nije mogla ostati imuna niti brodograđevna industrija tog vremena. Početak elektrifikacije broda može se smatrati 1880. godina kada je na parobrod Columbia ugrađeno 120 žarulja koje su služile za njegovu rasvjetu i četiri mala dinamo generatora pogonjena parnim strojem. Sljedećih godina opremljeno je još nekoliko brodova električnom rasvjetom te ona uskoro postaje standardna oprema broda. U početku su brodski generatori bili istosmjerni, a električna energija koristila se za rasvjetu i pogon istosmjernih motora koji su pogonili sve više brodskih sustava.

Početak 20. stoljeća događa se daljnji razvoj brodskih tehnologija. Usavršavanjem izmjeničnih motora i generatora sve se češće na brodu počinje upotrebljavati izmjenična struja. Također, kao glavni se brodski pogon pojavljuje i prva turbo-električna propulzija te, uvođenjem dizelskog motora, i dizel-električna propulzija. U vrijeme Prvog i Drugog svjetskog rata sve se više eksperimentira i s akumulatorskim baterijama koje su predstavljale izvor električne energije u tadašnjim podmornicama. U ovo vrijeme događaju se izmjene raznih tehnologija koje se koriste na brodovima; električna propulzija pada u drugi plan, a dizelski motor postaje glavni porivni stroj. Na brodovima se javlja potreba za sve većom električnom energijom tako da ukupna snaga generatora sve više raste.

U drugoj polovici 20. stoljeća trofazni sinkroni generator pokazao se kao pouzdan izvor električne energije na brodu. Trofazni asinkroni motori postaju dominantan pogon brodskih strojeva, a razvojem energetske elektronike njihovo upravljanje nudi znatne prednosti u regulaciji brodskih elektromotornih pogona. Također se u novije vrijeme sve više upotrebljavaju i sinkroni motori kao glavni porivni stroj broda. Zbog važnosti smanjivanja emisije stakleničkih plinova, električna propulzija ponovno postaje zanimljiva, a sve je više manjih brodova opremljeno električnim baterijama kao jedinim izvorom električne energije pa predstavljaju potpuno električne brodove s nultom emisijom ugljičnog dioksida.

Paralelno s razvojem brodskog elektroenergetskog sustava, javljaju se i napredniji načini upravljanja brodskim sustavima, od kojih je najznačajnije električno upravljanje. U početku se upravljanje vršilo isključivo ručnim putem, a kako se razvijala elektronika i automatika, tako su sustavi postajali djelomično ili u potpunosti automatizirani. Taj trend automatizacije i dalje se nastavlja tako da sigurnost pogona postaje sve veća, a posada sve malobrojnija. U konačnici se ide prema autonomnim brodovima koji će biti u stanju ploviti bez ljudske posade.

1.2. Općenito o brodskom elektroenergetskom sustavu

Brodski elektroenergetski sustav (EES), kao i kopneni elektroenergetski sustav, obuhvaća proizvodnju, prijenos, razdiobu te potrošnju električne energije. Brod, kao zatvoren i izoliran sustav, treba imati siguran i pouzdan EES. O njemu ovisi sigurnost i pogon broda.

Za pouzdan EES broda presudni su pouzdani izvori električne energije. Izvori električne energije na brodu su:

- glavno napajanje
 - glavni generatori
- napajanje u nuždi
 - pomoćni generator
 - akumulatorske baterije
- spoj s kopna

Glavni su izvori električne energije na brodu generatori. Brod treba imati najmanje dva glavna generatora koji u normalnim uvjetima plovidbe napajaju sve potrošače te pomoćni generator koji se uključuje u slučaju ispada glavnih generatora. Ovisno o veličini i namjeni broda, snage brodskih generatora kreću se od nekoliko stotina kVA pa do nekoliko MVA. Brodovi s električnom propulzijom mogu imati generatore snage i do 18MVA.

Generatori na brodu najčešće generiraju trofazni izmjenični naponi 440V, 60Hz; rjeđe 380V, 50Hz, kojim se napajaju trofazni potrošači. Za rasvjetu i druge jednofazne potrošače koristi se napon 220V koji se dobiva pomoću transformatora. S obzirom da brodovi postaju tehnički sve zahtjevniji, a ukupna instalirana snaga, kao i snaga pojedinih trošila veća, sve više se koristi visoki napon koji može biti i do 11kV. Na taj način smanjuju se struje, dimenzije kablova, gabariti električne opreme, a povećava se stupanj korisnosti.

Proizvedena električna energija iz generatora dovodi se u glavnu rasklopnu ploču (GRP). Ploča je opremljena sklopnim uređajima preko kojih se električna energija dalje vodi do trošila. Osim GRP-a, postoji i pomoćna rasklopna ploča (PRP) koja se u normalnom pogonu napaja s GRP-a. U slučaju ispada GRP-a, napajanje PRP-a preuzima pomoćni generator koji se automatski pokreće i zatim napaja samo važne potrošače spojene na PRP.

Najčešća električna trošila na brodu su: elektromotorni pogoni, električna rasvjeta, različiti električni grijači te navigacijski i komunikacijski uređaji. Potrošnja električne energije ovisi o veličini i namjeni broda. Najveća potrošnja električne energije odnosi se na elektromotorne pogone i do 75%, zatim na grijanje, hlađenje, rasvjetu te ostala trošila.

Osim generatora, na brodu postoje i akumulatorske baterije koje su smještene u akumulatorskoj stanici ili se nalaze u posebnim kutijama. One se koriste za istosmjernu mrežu niskog napona, najčešće 24V, koja napaja elektroniku te za slučajevne nužde kada napaja najbitnija trošila.

U posebnim slučajevima kada je brod na vezu ili u doku, električna trošila na brodu mogu se napajati i električnom energijom s kopna. Tada se postavlja kabel između kopna i broda tako da se jedna strana kabela spaja s priključnom kutijom na kopnu, a druga s priključnom kutijom na palubi ili s rasklopnom pločom broda. Prije uključivanja sklopke za napajanje s kopna, potrebno je provjeriti frekvenciju, napon i redoslijed faza na spojnom mjestu te isključiti generatorske sklopke i onemogućiti automatski start dizelskih generatora.

Na brodu se uglavnom koristi neuzemljeni EES. Kod neuzemljenog EES-a zvjezdište generatora izolirano je od trupa broda. Prednost ovakvog sustava dolazi do izražaja kada se pojavi spoj s masom. U tom slučaju, struja koja će poteći prema trupu broda relativno je mala, a samim time i opasnost. Iako je sustav izoliran, ipak će poteći neka struja, ovisno o veličini ukupnog kapaciteta između EES-a i trupa broda. Također je prednost što u slučaju ovakvog kvara sustav može nastaviti s radom, a kvar se istovremeno otklanjati. Na brodovima se može koristiti i uzemljeni EES, osim na tankerima gdje je obavezno da bude neuzemljen, iako u praksi njegova upotreba nije česta.

1.3. Posebni zahtjevi za brodski elektroenergetski sustav

Električna oprema koja se ugrađuje na brod mora zadovoljiti strože zahtjeve od opreme na kopnu. Ti zahtjevi propisani su od strane nacionalnih klasifikacijskih društava, odnosno registara. Njima se određuju minimalni zahtjevi vezani uz sigurnost broda, tereta, posade i putnika. Kod nas te propise i pravila propisuje i nadgleda Hrvatski registar brodova (HRB).

Električna oprema na brodu treba imati povećanu sigurnost i zaštitu, posebno od strujnog udara, požara i utjecaja vlage. Svi dijelovi pod naponom moraju se zaštititi od slučajnog dodira ako je izmjenični napon veći od 50 V ili istosmjerni od 120 V. Oprema na brodu izložena je nepovoljnim uvjetima okoline kao što su: velike promjene temperatura, vlažnost, prskanje vode, salinitet (posebno na otvorenoj palubi) te utjecaj ulja i uljnih para u strojarnici. Također je potrebno uzeti u obzir konstantno ljuštenje i vibracije koje se javljaju na brodu, stoga oprema i njena ugradnja treba biti izvedena tako da se smanje posljedice spomenutih negativnih utjecaja. Iz navedenih razloga bitno je da električna oprema ima odgovarajući stupanj mehaničke zaštite od krutih predmeta i od vode (IP). Zbog velikih vibracija koje se javljaju, pogotovo u strojarnici, potrebna je upotreba višezilnih vodiča koji su fleksibilni i stoga otporniji na pucanje. Svi vijčani električni spojevi trebaju biti osigurani od samoodvrtanja.

Osim propisa koji se odnose na samu izvedbu električne opreme, definirana su i pravila vezana za ugradnju, ispitivanje i rad navedene opreme. Nadzor nad tim radnjama provodi registar na način da kontinuirano sudjeluje u gradnji broda te naknadno izvršava periodičke preglede za vrijeme njegova korištenja.

Na brodu mogu postojati prostori gdje je prisutna eksplozivna atmosfera pa je tu potrebno koristiti protueksplozijsku izvedbu električne opreme oznake Ex. Najčešći je uzrok palje-

nja eksplozivne atmosfere električna iskra ili jako pregrijavanje. Protueksplozijski uređaji ne smiju uzrokovati eksploziju pa se u tu svrhu dodatno oklapaju ili se vrši ograničavanje energije i temperature koje bi mogle prouzročiti eksploziju.

1.4 Općenito o brodskim sustavima

Brod je složen proizvod i sastoji se od velikog broja brodskih sustava i podsustava. Da bi mogao obnašati svoju funkciju na siguran i propisan način, svi sustavi trebaju besprijekorno obavljati svoj dio posla. Neki brodski sustavi pripadaju samo određenoj vrsti broda, dok su neki zajednički za sve brodove. Također, kapacitet pojedinih sustava ovisi o vrsti broda. Putnički brod ima mnogo veću instaliranu snagu rasvjete, ventilacije i klimatizacije nego teretni brod. Tanker ima mnogo složeniji sustav tereta od broda za rasuti teret. U svakom slučaju, najvažniji brodski sustavi jesu sustav poriva i sustav upravljanja. Sustav poriva ili brodska propulzija služi za pokretanje broda. Najčešći je porivni stroj dizelski stroj koji ima svoje podsustave za hlađenje, podmazivanje i napajanje gorivom. Svi se oni sastoje od velikog broja cjevovoda, ventila i pumpi. Sustav upravljanja brodom u najvećoj se mjeri odnosi na kormilarski uređaj i predstavlja, s aspekta sigurnosti, vrlo bitan sustav. Još jedan sustav koji je zajednički za sve brodove je sustav trupa u koju spadaju pritezna i sidrena vitla, sustav balasta te sustav kaljuže. Da bi na brodu bio moguć boravak posade i putnika, postoji sustav životnih uvjeta u koji spadaju rashladni uređaji, ventilacija i klimatizacija. Značajan sustav na brodu jest i sigurnosni sustav u koji spadaju protupožarni uređaji, različiti alarmi te drugi uređaji bitni za sigurnost broda.

Svi sustavi na brodu mogu se upravljati ručno, a velika većina njih i daljinski s određenog mjesta. Sustav poriva i upravljanja brodom upravlja se daljinski s zapovjedničkog mosta. Kod današnjih brodova veliki broj brodskih sustava upravlja se automatski. Da bi se to omogućilo, postoje sustavi upravljanja i automatike koji su izvedeni u potpunosti električnim putem. Osim za upravljanje i automatiku, električna je energija potrebna i za pogon većine brodskih sustava, za što je zadužen elektroenergetski sustav broda bez kojeg bi danas plovidba bila nezamisliva.

1.5. Bilanca električne energije na brodu

Bilanca električne energije predstavlja praćenje i analizu tokova električne energije. Na osnovu nje vrši se dimenzioniranje izvora električne energije na brodu. Pri izradi bilance uzimaju se u obzir različita pogonska stanja broda, ovisno o namjeni broda i zonama plovidbe te tehnički i iskustveni podaci u pogledu nazivne snage trošila, koeficijenta opterećenja, koeficijenta istodobnog rada i sl. Tablica 1 prikazuje pojednostavljeni primjer ener-

getske bilance za manji putnički brod. U njoj su navedeni veći električni potrošači i njihove nazivne snage. S obzirom na tri pogonska stanja broda, plovidba, manevar i brod u luci na vezu, unesene su snage za pojedina trošila kao umnožak broja instaliranih trošila (n), jedinične nazivne snage (P_n) i pretpostavljenog koeficijenta opterećenja (k_o). Za svaku grupu potrošača naveden je koeficijent istodobnosti (k_i) koji ovisi o tome u kojoj je mjeri rad pojedinih potrošača vremenski isprekidan. Množenjem snage s koeficijentom istodobnosti za svaku grupu te zbrajanjem snaga svih grupa dolazi se do ukupne potrebne snage na osnovi koje se određuje snaga i broj generatora. Namjera je postići da generatori budu opterećeni iznad 50%, odnosno što bliže 75% nazivne snage. U navedenom primjeru određena su dva generatora nazivne snage 320kVA i faktora snage $\cos\Phi=0,8$ te je naveden broj generatora u pogonu i njihovo opterećenje s obzirom na pogonsko stanje broda.

Tablica 1: Energetska bilanca broda

Potrošač	Kom. n	P _n /jed. [kW]	Plovidba	Manevar	U luci
			P=n*P _n *k _o		
[I] Strojevi strojarnice – trajni pogon					
Rashladna pumpa slatke vode	2	18,5	15,3	15,3	-
Rashladna pumpa morske vode	2	11	8,5	8,5	-
Rashladna pumpa za pomoćne dizel motore	2	5,5	-	-	4
Pumpa ulja	2	11	8,8	8,8	-
Ventilatori strojarnice	2	5,5	9,4	9,4	4,7
Ostali uređaji		19	11	14	6
Koeficijent istodobnosti			1	1	1
Potrebna snaga			53	56	14,7
[II] Strojevi strojarnice – povremeni pogon					
Kompresori	2	11	-	8,5	-
Transfer pumpa dizel goriva	2	3	2,2	2,2	-
Ostali uređaji		10	6	8	4
Koeficijent istodobnosti			0,3	0,3	0,3
Potrebna snaga			2,5	5,6	1,2
[III] Brodski strojevi opće namjene					
Balastna pumpa	2	11	-	9,5	-
Pumpa protupožarna/opće službe	2	37	9	9	9
Pumpa kaljuže	2	15	11	-	-

Pumpa hidrofora slatke vode	2	3	4,9	4,9	4,9
Ostali uređaji		25	15	17	8
Koeficijent istodobnosti			0,3	0,3	0,3
Potrebna snaga			12	12,1	6,6
[IV] Palubni strojevi					
Pritezno vitlo	4	15	-	18	-
Sidreno vitlo	2	18,5	-	15	-
Kormilarski uređaj	2	15	9,5	9,5	-
Pramčani porivnik	1	110	-	99	-
Ostali uređaji		15	5	9	
Koeficijent istodobnosti			0,3	0,9	-
Potrebna snaga			4,4	135,5	-
[V] Rasvjeta					
Opća rasvjeta		78	75	75	58
Pomoćna rasvjeta		25	25	25	25
Rasvjeta palube		12	9	11	11
Ostali potrošači 220 V		25	20	20	18
Koeficijent istodobnosti			0,7	0,7	0,6
Potrebna snaga			90,3	91,7	67,2
[VI] Grijanje i hlađenje			95	56	51
[VII] Gospodarski uređaji			85	62	52
[VIII] Strojevi radionice			2	1	4
[IX] Navigacijski uređaji			5,4	5,4	0,6
UKUPNA POTREBNA SNAGA [kW]			349,6	425,3	197,3
BROJ GENERATORA U POGONU			2	2	1
DOSTUPNA SNAGA [kW]			512	512	256
OPTEREĆENJE GENERATORA			68%	83%	77%
GENERATOR 2 x 320 kVA, $\cos\Phi=0,8$					

1.6. Vježba 1 – energetska bilanca broda

Zadatak

Izraditi energetska bilancu teretnog broda za četiri pogonska stanja; plovidba, manevar, rad u luci i mirovanje u luci te definirati broj i snagu generatora.

Potrebna oprema

- papir
- pisaći pribor
- kalkulator

Opis vježbe

Potrebno je detaljno proučiti i prokomentirati primjer energetske bilance manjeg putničkog broda, prikazanog u tablici 1, koji može primiti 80 putnika i 30 članova posade. Teretni brod za koji se treba napraviti energetska bilanca 50% je većih dimenzija u odnosu na navedeni putnički brod te, sukladno tomu, povećati kapacitete sustava strojarne, palube i opće namjene. Osim navedenih sustava, brod je dodatno opremljen dvjema dizalicama na otvorenoj palubi za ukrcaj i iskrcaj tereta u luci, od kojih svaku pokreće elektromotor snage 120 kW. Teretni brod ima 20 članova posade pa je potrebno prema tomu značajno umanjiti kapacitete sustava grijanja i hlađenja te gospodarskih uređaja koji se odnose na pripremu hrane i pranje odjeće. Također, teretni brod ima rasvjetu u strojarnici i nadgrađu koji su smješteni na krmenom dijelu te noću po otvorenoj palubi, za razliku od putničkog broda koji je osvijetljen cijelom dužinom i na svim palubama. Utvrditi i navesti sličnosti i razlike u pogledu brodskih sustava između navedenog putničkog i teretnog broda.

Zatim je potrebno napraviti tablicu s listom glavnih električnih potrošača na brodu po grupama, unijeti instalirane i procijenjene snage opterećenja za pojedine potrošače te koeficijente istodobnosti. Na osnovi ukupne snage za pojedina pogonska stanja broda odrediti broj i prividnu snagu generatora, njihov faktor snage i opterećenje. Tablicu napraviti prema navedenom primjeru prikazanom u tablici 1.

Napomena

Procjene kapaciteta brodskih sustava, kao i njihovog opterećenja maksimalno su pojednostavljene u svrhu razumijevanja okvirnog proračuna energetske bilance broda.

2

POGLAVLJE

BRODSKA ELEKTRIČNA MREŽA

Nakon ovog poglavlja moći ćete:

- opisati elektroenergetski sustav broda
- objasniti upravljanje i automatiku brodskih sustava
- provoditi održavanje električnih sustava na plovilima
- spojiti i pustiti u rad električni sustav prema tehničkoj dokumentaciji
- utvrditi ispravnost i prema potrebi otkloniti kvar na električnom sustavu.

2.1. Općenito o brodskoj električnoj mreži

Brodaska električna mreža odnosi se prvenstveno na energetska električnu mrežu koja se može definirati kao skup povezanih električnih elemenata koji služe za prijenos i razdijelbu električne energije od izvora do potrošača. Na brodu ovu mrežu čine kabelski vodovi, sklopne ploče te transformatori. To je izmjenična mreža osnovne naponske razine 440V (380V) te 220V uz mogućnost i drugih naponskih razina. Uz navedenu izmjeničnu električnu mrežu, na brodu postoji i istosmjerna električna mreža, najčešće napona 24V. U konačnici, današnji brodovi u velikoj su mjeri automatizirani tako da je potrebno prema svakom brodskom sustavu postaviti i znatan broj signalnih kabela. Svi ti kabeli, napojni i signalni, čine kabelsku mrežu koja je vrlo opsežna i razgranata, što posebno dolazi do izražaja kod putničkih brodova.

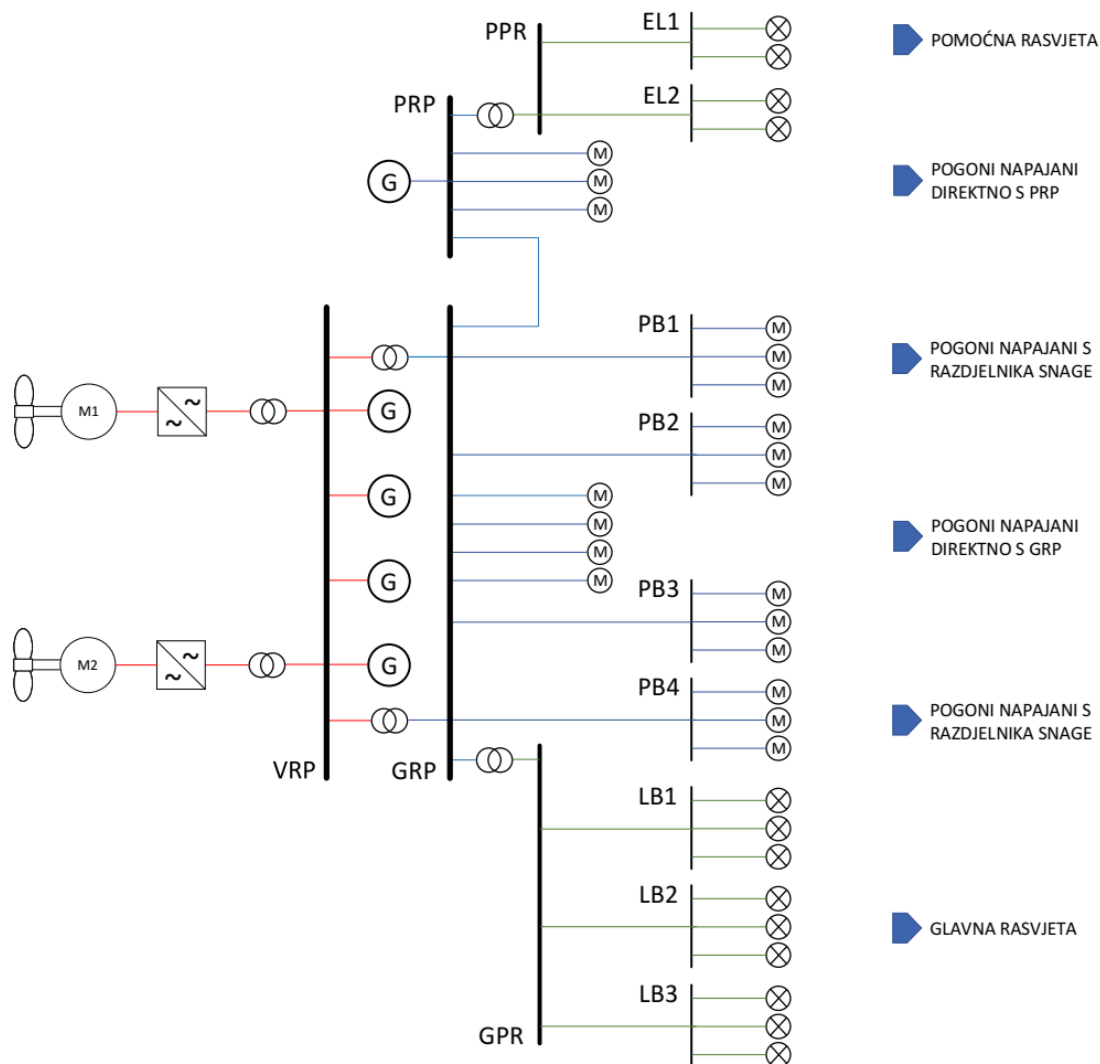
Za napajanje trošila električnom energijom odgovorna je energetska električna mreža. Ova mreža razgranata je po cijelom brodu i u pravilu je radijalnog tipa, što znači da se radijalno širi od brodske električne centrale prema potrošačima. Svi brodski generatori, osim pomoćnog, povezani su s glavnom rasklopnom pločom te zajedno čine brodsku električnu centralu. Opskrba električnom energijom svih potrošača na brodu odvija se s GRP-a. S te se ploče električna energija razvodi do većih potrošača te do razdjelnika snage i rasvjete koji su raspoređeni po brodu ovisno o koncentraciji električnih trošila.

Pomoćni generator povezan je s pomoćnom rasklopnom pločom koja se nalazi u istom prostoru gdje je smješten i sam generator. Taj prostor u pravilu je izvan strojarnice te iznad glavne palube. GRP i PRP povezane su međusobno kabelskim vodovima u svrhu napajanja električnom energijom i ova električna veza može se isključiti pomoću prekidača. U uobičajenim pogonskim uvjetima PRP se napaja s GRP-a. Tek u slučaju ispada GRP-a dolazi do automatskog pokretanja pomoćnog generatora koji napaja samo PRP. U tom slučaju vrši se napajanje samo onih trošila koja su spojena na PRP, a to su u pravilu sustavi neophodni za sigurnost i plovidbu broda.

Brodovi koji imaju električnu propulziju i brodovi specijalne namjene koji su opremljeni elektromotornim pogonima velikih snaga koriste, uz navedene naponske razine, i visokonaponsku električnu mrežu. Napon iznad 1000V smatra se visokim naponom te takva izvedba električne mreže podliježe posebnim pravilima. Na brodu su visokonaponske razine najčešće 3,3 kV, 6,6 kV te 11 kV. Visokonaponska električna mreža povezuje visokonaponske generatore, visokonaponske rasklopne ploče i visokonaponske potrošače. Kod izvedbe ovih električnih mreža koriste se kabeli i električni uređaji za visoke napone.

Na slici 1 prikazan je elektroenergetski sustav broda s električnom propulzijom. Četiri visokonaponska generatora spojena su na visokonaponsku rasklopnu ploču VRP s koje se dalje napajaju preko frekvencijskih pretvarača dva elektromotora koji pogone brodske vijke te preko transformatora glavna rasklopna ploča GRP. Budući da većina brodova nema električnu propulziju, izostavljanjem VRP-a i elektromotornog pogona brodskih vijaka iz navedene sheme te spajanjem generatora (u tom slučaju niskonaponskih) na GRP može se

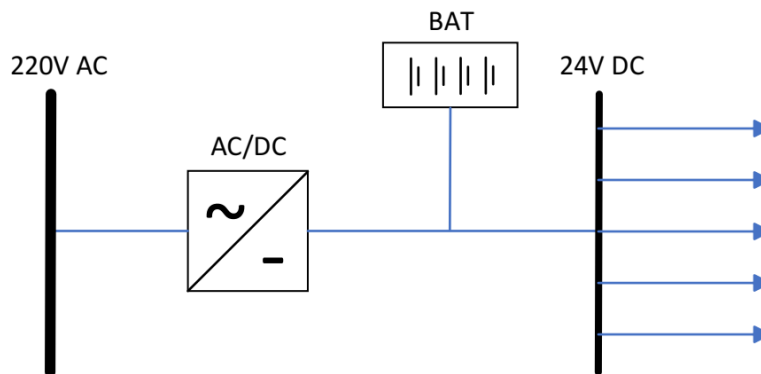
prikazati EES kod brodova koje pogoni dizelski stroj. U tom primjeru kao izvori električne energije koriste se četiri glavna generatora i jedan pomoćni. Glavni generatori spojeni su na GRP s koje se dalje napajaju trofazna trošila M i razdjelnici snage PB. Preko transformatora napon GRP-a spušta se s 440V (380V) na 220V koji onda napaja glavnu ploču rasvjete GPR. Na GPR se spajaju razdjelnici rasvjete LB koji dalje napajaju rasvjetne krugove po cijelom brodu. Pomoćni generator spojen je na PRP s koje se napajaju neophodna trofazna trošila te, preko transformatora, pomoćna ploča rasvjete PPR.



Slika 1: Elektroenergetski sustav broda

Istosmjerna električna mreža na brodu koristi se za napajanje elektroničkih uređaja, odnosno za napajanje bitnih sustava za sigurnost plovidbe - alarmnih sustava, sustava komunikacije, automatike, nužne rasvjete, protupožarne opreme i sl., - u nuždi te kod malih plovila služi kao glavni izvor električne energije. Mreža se napaja iz akumulatorskih baterija koje su smještene u akumulatorskoj stanici te u kutijama u strojarnici i prostoru PRP-a.

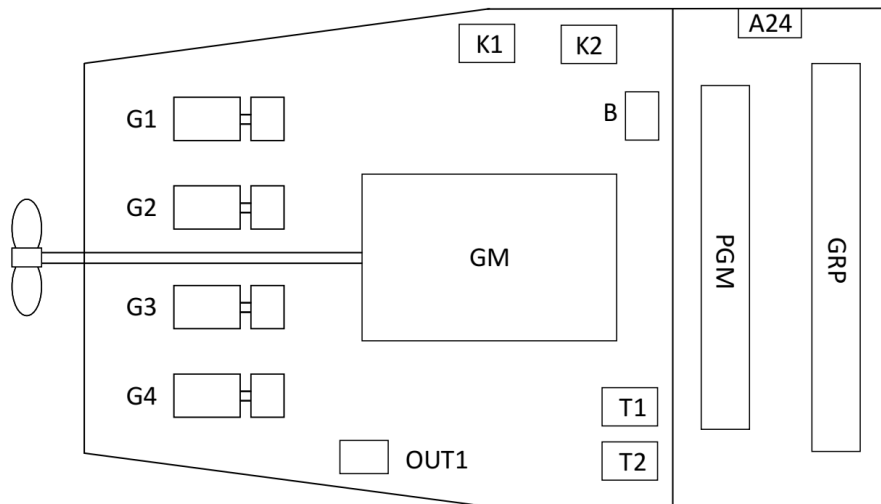
Serijskim spajanjem baterija mogu se dobiti standardni istosmjerni naponi; 6, 12, 24, 48, 110 i 220 V, a najčešće korišteni napon je 24V. Istosmjerna električna mreža osigurava neprekidno napajanje i nužno je da u slučaju nestanka električne energije na brodu može napajati važne potrošače propisano vrijeme. Baterije se pune pomoću punjača koji se napajaju s izmjenične ploče 220V. Na slici 2 prikazana je brodska istosmjerna električna mreža koja se napaja iz baterija, razvod prema istosmjernim potrošačima te punjač koji vrši punjenje baterija.



Slika 2: Prikaz brodske istosmjerne električne mreže

Današnji brodovi imaju napredne sustave za nadzor, upravljanje, automatiku, komunikaciju, signalizaciju i sl. Ovisno o stupnju automatizacije, nadzor i upravljanje brodskim sustavima može se vršiti pomoću relejne tehnike i/ili pomoću PLC-ova koji se nalaze u upravljačkim ormarima te putem centralnog računala koje je smješteno u kontrolnoj kabini strojarnice ili na zapovjedničkom mostu. Zato brodski sustavi i podsustavi trebaju biti opremljeni velikim brojem senzora i aktuatora na koje je potrebno spojiti signalne kabele. Druga strana tih kabela spaja se u upravljačke ormare pojedinih sustava ili u alarmne kabinete. Alarmni kabineti prikupljaju podatke s velikog broja senzora i šalju ih komunikacijskim kabelima prema računalu s kojeg se pomoću brodske SCADA-e vrši nadzor sustava te daljinsko ili automatsko upravljanje. Nadalje, različiti sustavi međusobno komuniciraju pa ih je potrebno također povezati signalnim i komunikacijskim kabelima. Svi ovi kabeli znatno povećavaju kabelsku mrežu koja je svakim tehnološkim unapređenjem broda sve veća i razgranatija.

Na slici 3 prikazana je strojarnica broda s glavnim motorom GM, brodskim vijkom i značajnijom elektroopremom. U krmenom dijelu strojarnice nalaze se četiri glavna generatora s pripadajućim pomoćnim motorima G1-G4. Na lijevoj strani strojarnice, gledano u smjeru pramca, smještena su dva kompresora radnog zraka K1 i K2 te kutija s baterijama B, a na desnoj strani alarmni kabinet OUT1 te transformatori T1 i T2. U pramčanom je dijelu strojarnice kontrolna kabina u kojoj se nalazi glavna rasklopna ploča GRP, pult glavnog motora PGM te razdjelna ploča 24V.



Slika 3: Smještaj opreme u strojarnici broda

2.2. Brodski kabeli

Kako bi se električki povezali generatori i rasklopna ploča te dalje svi električni potrošači, na brodu je postavljena kabelska mreža. Brodski kabeli moraju zadovoljiti strože kriterije od kabela koji se postavljaju na kopnu, uzimajući u obzir otpornost na: mehanička oštećenja, sol, vlagu, ulje, gorivo i zapaljivost.

S obzirom na namjenu brodski električni kabeli dijele se na:

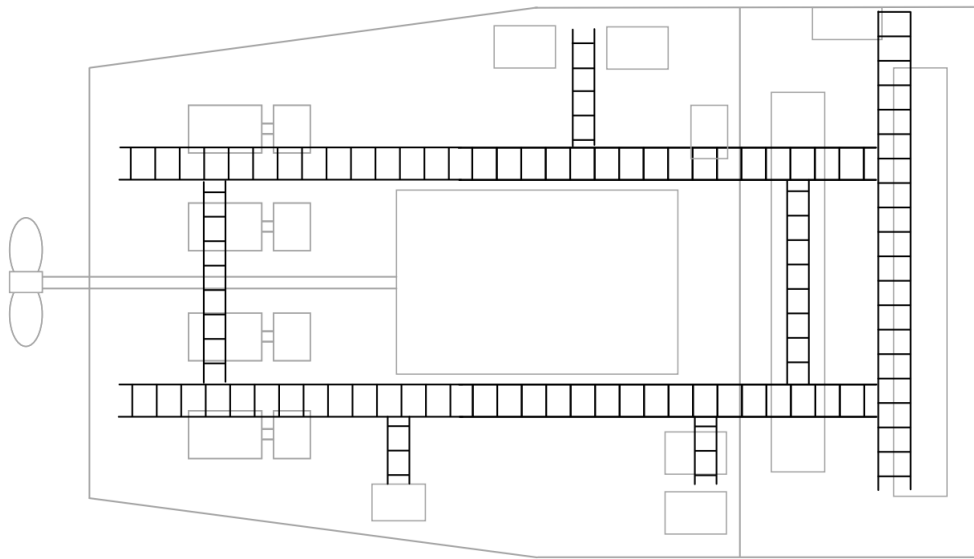
- energetske,
- signalne.

Energetski kabeli su oni kabeli koji napajaju električnom energijom strojeve i uređaje te obično provode veće struje. Signalni kabeli odnose se na kabele koji provode upravljačke i komunikacijske signale.

Brodski električni kabeli, kao i kopneni, dimenzioniraju prema nazivnoj struji i padu napona. Dozvoljeni pad napona do krajnjeg potrošača može iznositi najviše 5% nazivnog napona. Dimenzioniranjem kabela prema nazivnoj struji sprječava se nedozvoljeno zagrijavanje kabela. Na smanjivanje zagrijavanja kabela može se utjecati, osim povećanjem presjeka vodiča, i načinom njegovog postavljanja. Zagrijavanje kabela ovisi o tome koliko se topline stvara u kabelu i koliko se odvodi iz kabela u okolinu. U obzir se zato uzima veličina kabelskih snopova pri postavljanju kabela i sama konstrukcija kabelske trase kako bi odvođenje topline iz kabela bilo što bolje.

Kabeli se na brodu polažu na kabelske trase koje su izrađene od perforiranog lima ili metalnih polica. Na slici 4 prikazan je smještaj kabelskih trasa u strojarnici broda. Vidljivo je

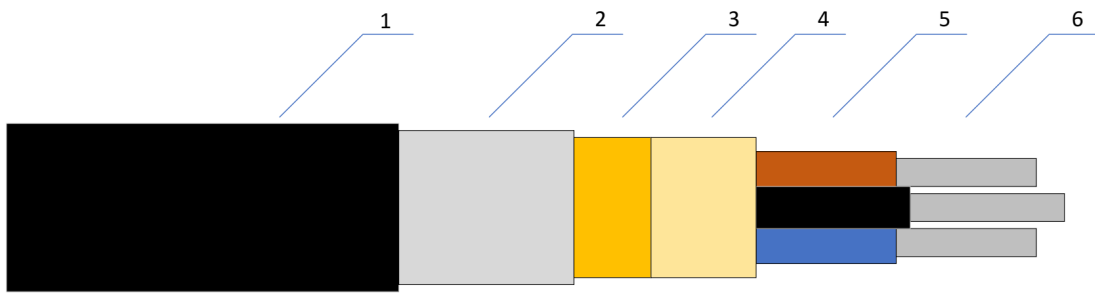
da su kabela trase raspoređene na način da se kablom može doći do svih električnih uređaja. Osim glavne kabela trase kroz koju prolazi veliki broj kabela, postavlja se i sekundarna kabela trasa koja povezuje pojedinačne električne uređaje. Nakon postavljanja kabela na trase, oni se grupiraju u snopove i učvršćuju metalnim trakama na udaljenosti 25–30 cm. Zbog vibracija, bitno je da su kabeli dobro učvršćeni i da nisu u dodiru s okolnim oštrim rubovima. Prolazi kabela trase kroz brodske pregrade izvode se pomoću modula koji učvršćuju kabele, osiguravaju vodonepropusnost te sprječavaju širenje požara. Brodski kabeli uvode se u električne uređaje pomoću uvodnica koje ih dobro učvršćuju i omogućuju njihovo uzemljenje gdje je potrebno.



Slika 4: Prikaz smještaja kabela trase u brodskoj strojarnici

Energetski i signalni kabeli polažu se odvojeno kako bi se izbjegle smetnje u signalnim kablom. Kabeli su najčešće izvedeni s metalnim opletom (armaturom) koji umanjuje smetnje nastale zbog elektromagnetskog zračenja te ih štiti od mehaničkih oštećenja.

Na brodovima se koriste nehalogeni, teško gorivi kabeli, koji ne stvaraju toksične plinove u uvjetima požara te imaju reducirano širenje plamena i stvaranja dimnih plinova. Otporni su na ulja i maziva te na struganja i vibracije. Konstrukcijski mogu biti izvedeni kao energetski ili kao telekomunikacijski, odnosno signalni. Poprečni presjek vodiča energetskih kabela kreće se od 1,5 – 300 mm², a mogu biti izvedeni kao jednožilni i višežilni. Presjek vodiča kod telekomunikacijskih kabela je od 0,5 – 1,5 mm², višežilni su te najčešće s odvojenim paricama. Ovisno o namjeni, kabeli mogu imati armaturu od pokositrenih bakrenih žica te biti omotani bakar-poliester trakom u svrhu zaštite od elektromagnetskih smetnji. Također, mogu biti izvedeni za napone do 1 kV i sredjenaponski za napone do 6 kV i 10 kV. Na slici 5 prikazani su konstrukcijski dijelovi brodskog kabela; plašt (1), armatura (2), bakar poliester traka (3), unutrašnji plašt (4), izolacija (5) i vodič (6).

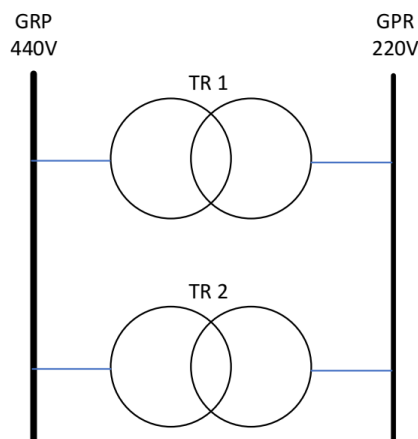


Slika 5: Prikaz konstrukcije brodskog kabela

2.3. Transformatori

Ovisno o izvedbi, elektroenergetski sustav broda EES može imati više naponskih razina. Da bi dobili potrebne napone, koriste se transformatori. Najčešća upotreba transformatora na brodu je za transformaciju napona 440 V/220 V. Napon 220 V koristi se za napajanje rasvjete i jednofaznih trošila na brodu. Primar transformatora napaja se s glavne rasklopne ploče, a sekundar je spojen na ploču rasvjete koja može biti odvojena ili u sklopu GRP-a.

Navedenih transformatora, ovisno o potrebi, može biti više, a najmanje su dva. U slučaju kada su dva, dimenzionirani su tako da jedan može pokriti cijelu potrošnju, a drugi služi kao rezerva. Obično ne rade u paralelnom radu, osim u trenutku prebacivanja opterećenja s jednog na drugi, da ne dolazi do prekida napajanja. Da bi transformatori mogli raditi u paralelnom radu trebaju imati isti prijenosni omjer, satni broj i napon kratkog spoja. Kako u praksi transformatori nisu nikada u potpunosti identični, tako se u paralelnom radu između njih stvaraju struje izjednačenja te samim tim i gubici. Također, u slučaju kratkog spoja na sekundaru, dolazi do dvostruko veće struje kratkog spoja nego da je radio samo jedan transformator. Na slici 6 prikazana su dva transformatora rasvjete i njihov spoj na primarnoj strani s glavnom rasklopnom pločom napona 440 V i na sekundarnoj strani s glavnom pločom rasvjete napona 220V.



Slika 6: Spoj transformatora rasvjete na brodu

2.4. Brodske sklopne ploče

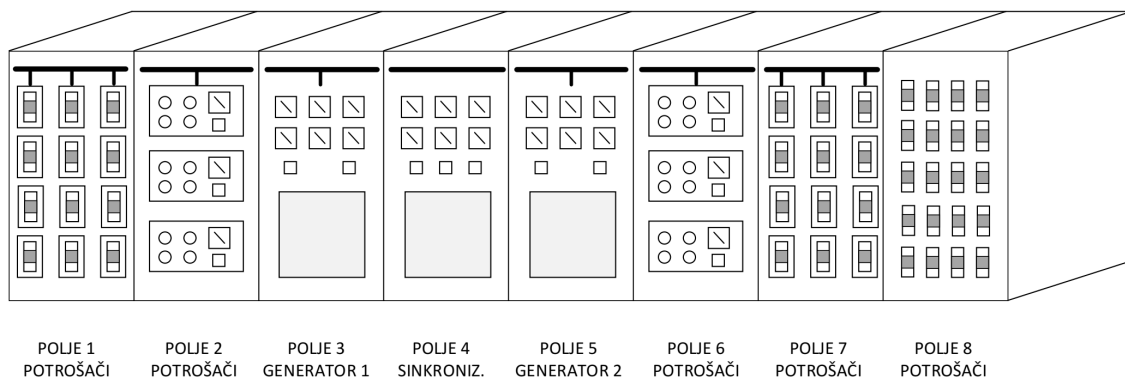
Razdioba električne energije u elektroenergetskom sustavu broda odvija se preko sklopnih ploča koje se dijele na:

- glavnu rasklopnu ploču,
- pomoćnu rasklopnu ploču,
- razdjelnike snage,
- razdjelnike rasvjete.

2.4.1. Glavna rasklopna ploča

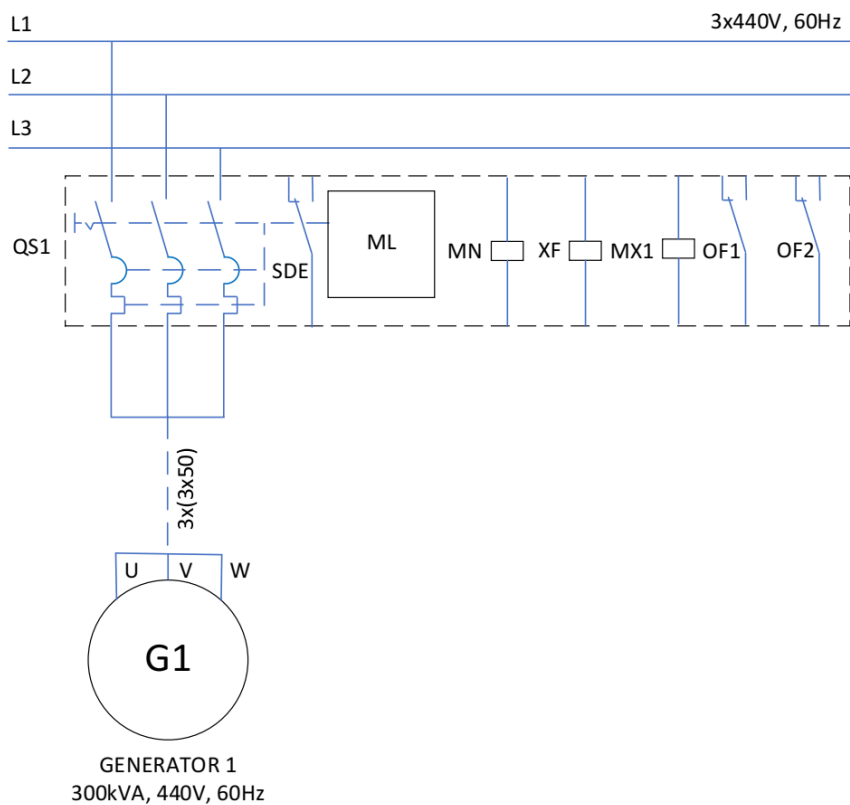
Glavna rasklopna ploča (GRP) centralni je dio brodskog elektroenergetskog sustava. Najčešće je smještena u kontrolnoj kabini koja se nalazi u strojarnici broda. GRP je veliki električni ormar sastavljen od čeličnih limova. Cijelom dužinom unutar ploče postavljene su sabirnice koje preuzimaju električnu energiju s generatora i dijele je prema potrošačima. Sabirnice su neizolirani bakreni vodiči, najčešće u obliku ravnih profila ili cijevi. Dimenzionirane su tako da mogu izdržati mehanička i električna naprezanja u slučaju kratkog spoja. GRP je najčešće podijeljena na desnu i lijevu stranu koje mogu raditi zasebno. Zbog toga su i sabirnice podijeljene na dva dijela, a međusobno su spojene sabirničkim rastavljačem. Generatori se spajaju na ploču tako da se ravnomjerno raspodijele na lijevu i desnu stranu. Potrošači prema kojima se vrši raspodjela električne energije također su ravnomjerno podijeljeni na dvije strane ploče. Važniji potrošači za sigurnost i pogon broda, kao što su pumpe rashladne vode, pumpe goriva, pumpe ulja i sl., izvedeni su duplo tako da se napajaju s različitih strana ploče. Razlog razdvajanja ploče je osiguravanje napajanja električnom energijom važnih potrošača u slučaju ispada jednog dijela ploče.

GRP je podijeljena na više polja. Na slici 7 prikazana je GRP s generatorskim poljima, poljem sinkronizacije i poljima potrošnje. Veličina GRP-a i broj polja ovise o broju generatora i broju potrošača na brodu.



Slika 7: Prikaz GRP-a po poljima

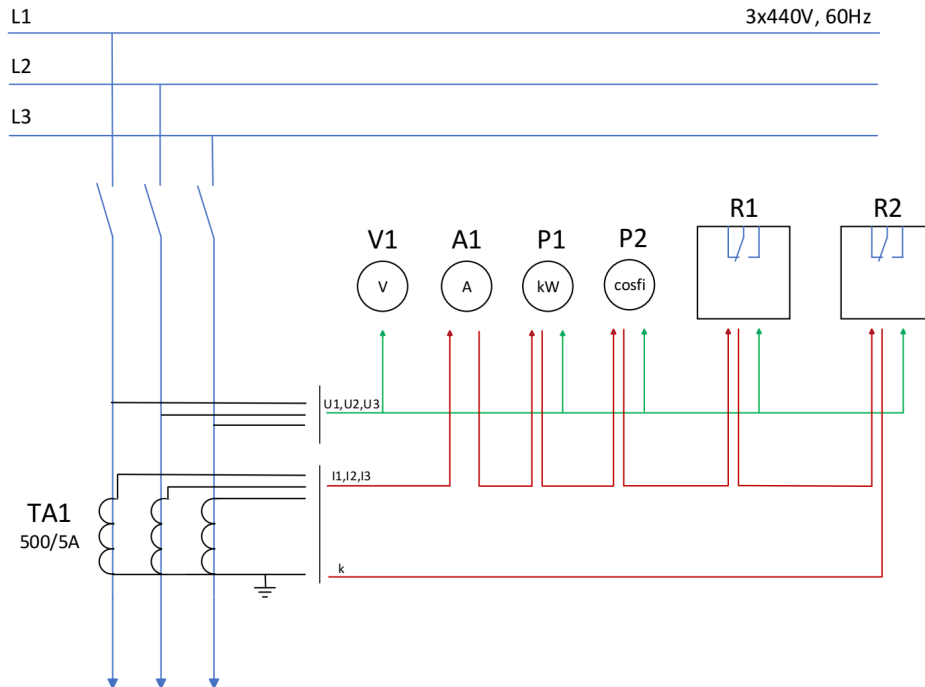
Svaki generator se spaja u jedno zasebno generatorsko polje. To polje je opremljeno generatorskim prekidačem kojem je svrha uključivanje i isključivanje generatora s mreže te osiguravanje primarne generatorske zaštite. U generatorskom polju izvedene su također i sekundarne zaštite generatora te upravljački i mjerni krugovi. Na slici 8 je prikaz generatorskog polja u kojem je generator G1 spojen na sabirnice GRP-a preko generatorskog prekidača QS1. Upravljačka zaštitna jedinica ML nadzire prekidač i preko nje se vrši aktiviranje električnih zaštita. U slučaju prorade zaštita, glavni kontakti prekidača se isključuju, a pomoćni kontakt SDE indicira da je zaštita aktivirana. Aktivacija podnaponskog releja MN koristi se kao uvjet da bi se prekidač mogao uključiti. Releji XF i MX1 služe za daljinsko uključivanje i isključivanje prekidača, a pomoćni kontakti QF1 i QF2 indiciraju njegovo stanje. Na slici je još vidljivo da je generator spojen na GRP preko tri kabela presjeka 50 mm² po svakoj fazi.



Slika 8: Prikaz prekidača u generatorskom polju GRP-a

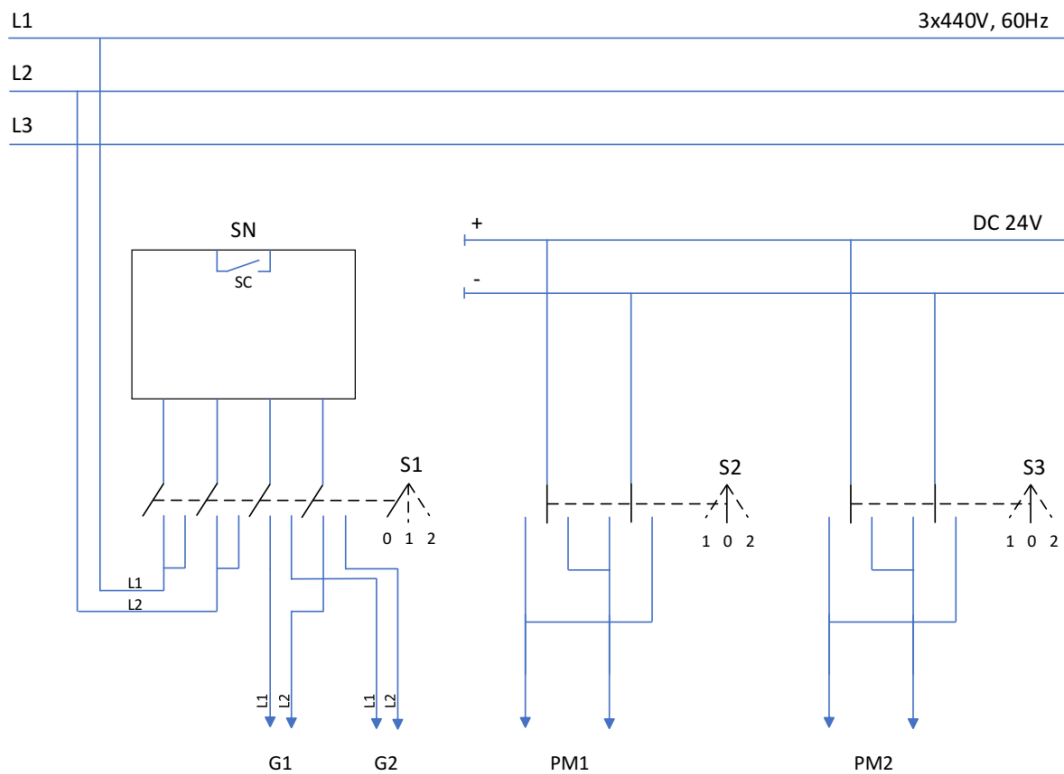
Slika 9 prikazuje krugove mjerenja i sekundarne zaštite u generatorskom polju GRP-a. S vodova na strani generatora uzimaju se linijski naponi U1, U2, i U3 te se odvođe na mjerne instrumente. Sa strujnog mjernog transformatora TA1 vode se struje I1, I2 i I3 koje iznose 1/100 struja generatora. Na osnovi tih podataka vrši se očitavanje struja i napona generatora po svim fazama. Uglavnom postoji jedan ampermetar A1 i jedan voltmetar V1, a odabir faze na kojoj se želi mjeriti odabire se preklopkom. Snagu očitava mjerni instrument P1,

faktor snage instrument P2, a releji R1 i R2 koriste se za zaštitu od povrata snage i od preopterećenja kada se isključuju manje važni potrošači.



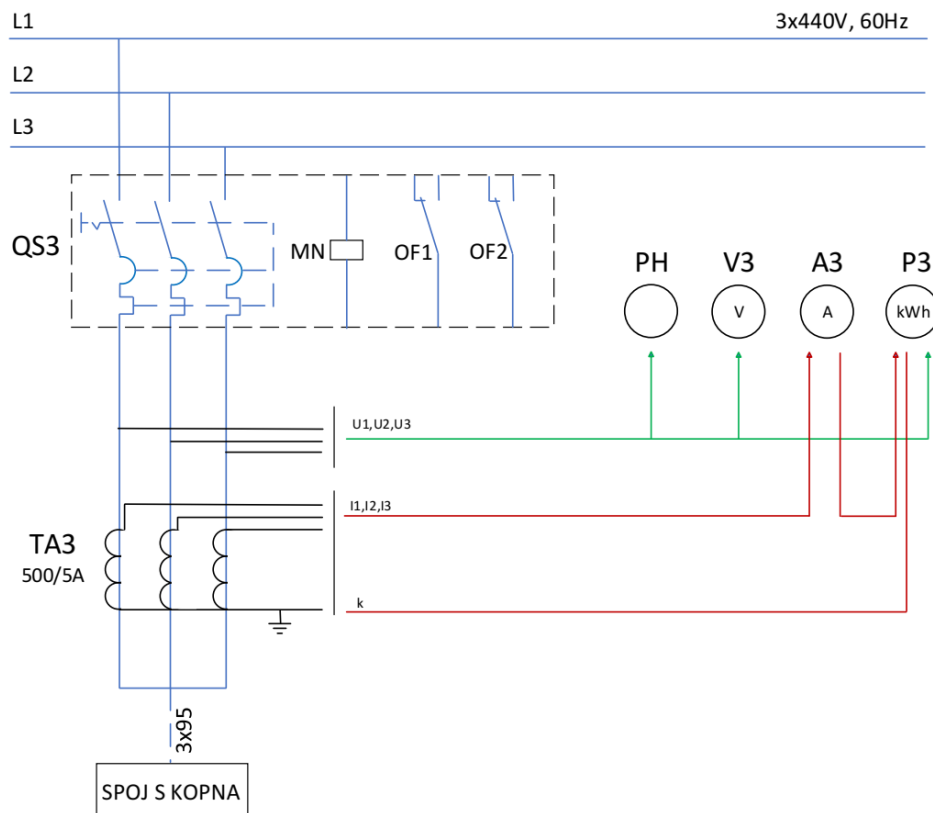
Slika 9: Mjerenje i zaštita u generatorskom polju GRP-a

Polje sinkronizacije opremljeno je potrebnim uređajima i automatikom za izvođenje sinkronizacije generatora pri uklopu u paralelan rad. Osim mjernih instrumenata, za izvođenje sinkronizacije upotrebljavaju se signalizacijske lampice te u novije vrijeme sinkronoskop. Ovo polje često je opremljeno i mjernim uređajima koji prate stanje na sabirnicama kao što je npr. uređaj za nadzor izolacije. Slika 10 prikazuje izvedbu ručne sinkronizacije u polju sinkronizacije GRP-a. Na uređaj za sinkronizaciju SN dovodi se veza sa sabirnicama, a preklopkom S1 bira se generator koji se želi sinkronizirati. Nakon postavljanja preklopke u željenu poziciju, na sinkronizacijski uređaj dovodi se veza s odabranog generatora. Sinkronizacijski uređaj uspoređuje naponsko stanje na strani sabirnicama i na strani generatora pa, kada se ispune uvjeti sinkronizacije, uključuje kontakt SC i tada se generator uklapa u mrežu. Ako uvjeti sinkronizacije nisu ispunjeni i frekvenciju generatora potrebno je povećati, to se postiže pomoću preklopke S2. Pozicija 1 na navedenoj preklopki povećava frekvenciju generatora G1 tako da aktuator dovodi više goriva na pomoćni motor PM1 koji ubrzava te se posljedično frekvencija generatora povećava. Pozicija 2 usporava motor i smanjuje frekvenciju. Princip rada preklopke S3 jednak je navedenom principu, samo što se u tom slučaju upravlja drugim pomoćnim motorom i generatorom. Automatska sinkronizacija radi na istom principu kao i navedena ručna sinkronizacija, samo što automatika zamjenjuje opisani rad preklopki.



Slika 10: Prikaz ručne sinkronizacije u polju sinkronizacije GRP-a

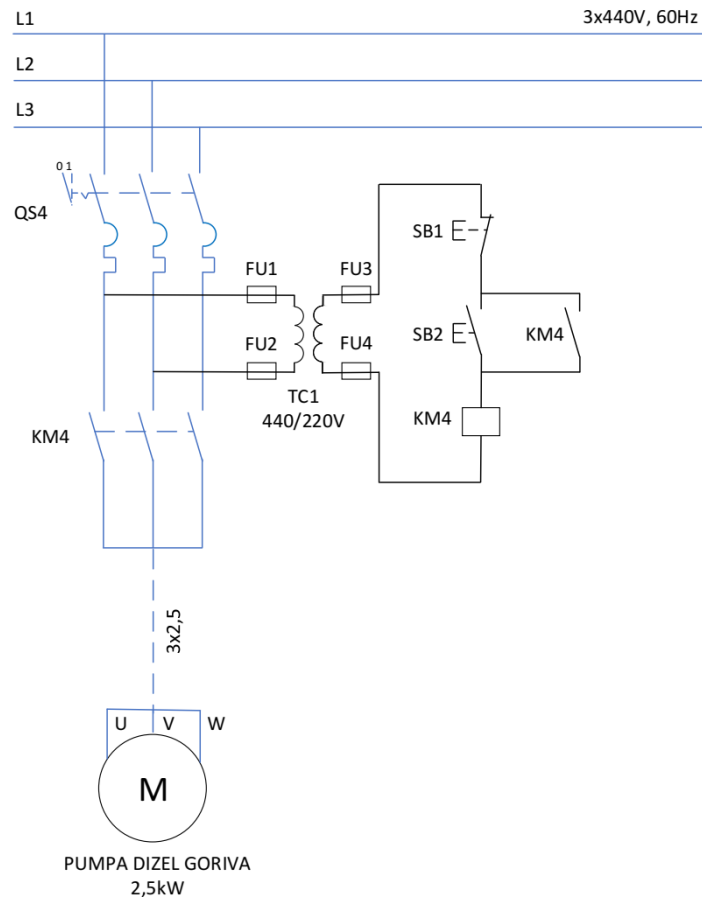
Također, u GRP-u može biti izvedeno i polje za spoj s kopna gdje se dovlači i spaja kabel koji povezuje brod i kopno. To polje, osim prekidača i mjernih instrumenata kao što su voltmetri i ampermetri, treba biti opremljeno i uređajem za određivanje redoslijeda faza te brojiлом električne energije. Na slici 11 nalazi se prikaz polja spoj s kopna GRP-a. Kabel $3 \times 95 \text{ mm}^2$ spojen je preko prekidača QS3 na sabirnice GRP-a. Naponi za potrebe mjerenja uzimaju se prije prekidača i odvođe na mjerne instrumente. Struje se vode sa strujnog mjernog transformatora TA3 do mjernih instrumenata, a umanjene su u skladu s prijenosnim omjerom transformatora. Prikazani mjerni instrumenti na slici su: uređaj za određivanje redoslijeda faza PH, voltmetar V3, ampermetar A3 i brojilo električne energije P3. Da bi se smanjio broj ampermetara i voltmetara, najčešće se koristi preklopka preko koje se odabire faza na kojoj će se vršiti mjerenje.



Slika 11: Prikaz polja spoj s kopna u GRP-u

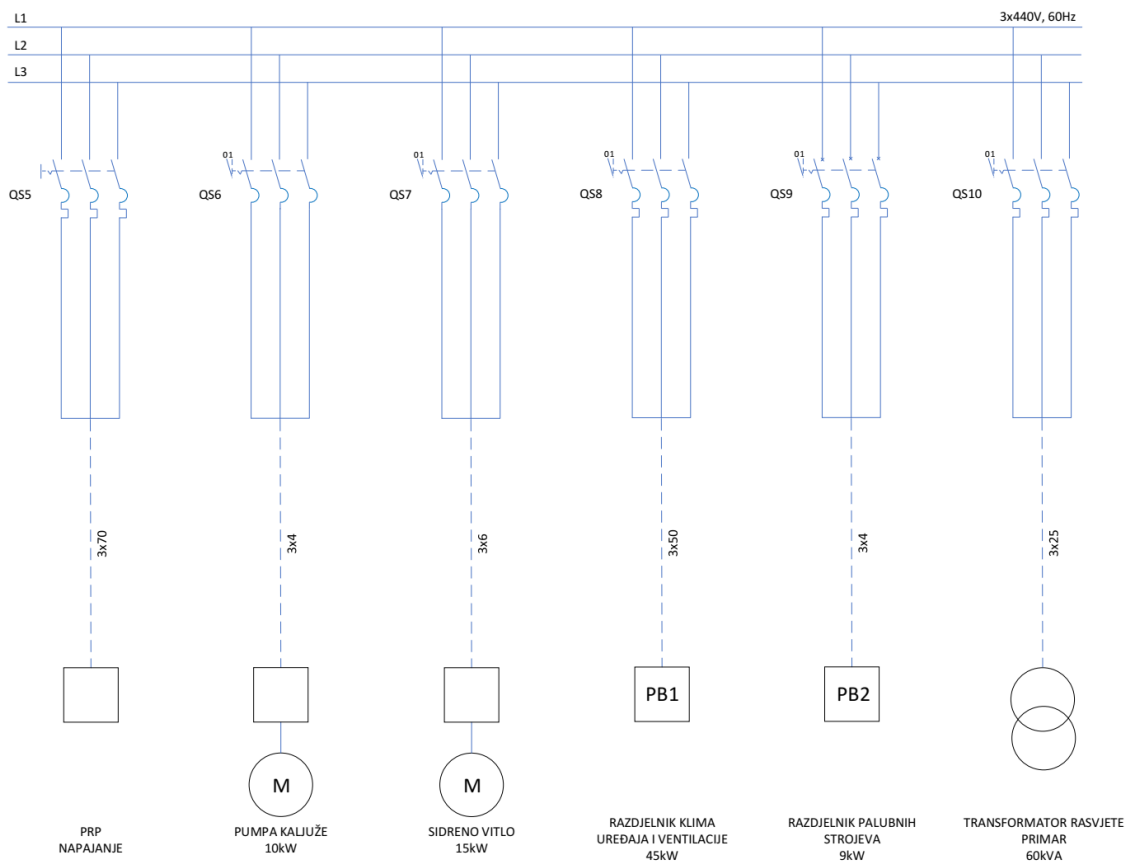
Potrošači se napajaju iz polja potrošnje. Ova polja najčešće napajaju razdjelnike snage po cijelom brodu i udaljene uputnike elektromotora različitih brodskih sustava. Također, uputnici pojedinih brodskih elektromotornih pogona mogu biti ugrađeni i u samu ploču. Na slici 12 prikazan je jedan takav uputnik pumpe dizelskog goriva koji je smješten u GRP-u. Elektromotor pumpe spojen je kabelom $3 \times 2.5 \text{ mm}^2$ na sklopnik KM4. Sklopnik se napaja sa sabirnica GRP-a preko prekidača QS4. Navedeni prekidač ima izvedene električne zaštite koje štite elektromotor i kabel. Upravljanje elektromotorom izvedeno je pomoću sklopnika koji možemo uključiti ON tipkalom SB2 i isključiti OFF tipkalom SB1. Transformator TC1 koji je zaštićen osiguračima FU1-FU4 koristi se kako bi se dobio upravljački napon 220 V. Tipkalo SB1 u neaktivnom stanju ima zatvoren kontakt (normally closed; NC) te stoga provodi napon do tipkala SB2 koje u neaktivnom stanju ima otvoren kontakt (normally open; NO). U trenutku aktiviranja tipkala SB2, njegov kontakt se zatvori i napon se provede do svitka (elektromagneta) sklopnika KM4. Napajanjem svitka naponom 220 V, sklopnik se aktivira i zatvori svoje glavne kontakte i elektromotor koji je spojen na njega započne s radom. Osim glavnih kontakata, svi pomoćni kontakti sklopnika promijene svoj položaj. Tako se kontakti NO zatvore, a kontakti NC otvore. U ovom je slučaju pomoćni kontakt NO sklopnika spojen paralelno na tipkalo SB2 te se on također zatvori. Sve dosad navedeno događa se u trenutku pritiska tipkala SB2. Nakon otpuštanja tipkala SB2, njegov kontakt se vrati u otvo-

reni položaj, ali sada se napajanje svitka sklopnika održava preko spomenutog pomoćnog kontakta sklopnika KM4. Da bi isključili sklopnik, a samim time i elektromotor koji pokreće pumpu, potrebno je pritisnuti tipkalo SB1. U tom trenutku prekida se napajanje svitka i sklopnik se isključuje. Na ovaj način vrši se ručno upravljanje navedenog elektromotornog pogona. Ako se upravljanje sklopnikom vrši pomoću PLC-a, rad se može automatizirati prema programiranoj proceduri.



Slika 12: Prikaz uputnika pumpe dizel goriva u GRP-u

Polja potrošnje GRP-a opremljena su: sklopkama, prekidačima, sklopticima, upravljačkim elementima te mjernim instrumentima. Na slici 13 prikazano je jedno polje potrošnje iz kojeg se napaja nekoliko trošila. Napajanje se vrši preko prekidača QS5-QS10 koji imaju ugrađene električne zaštite. Potrošači su spojeni na GRP preko kabela naznačenih dimenzija. Prekidač QS5 napaja pomoćnu rasklopnu ploču. Preko sljedeća dva prekidača napajaju se izdvojeni uputnici navedenih elektromotornih pogona. Zatim su prikazani razdjelnici snage PB1 i PB2 s kojih se dalje napajaju različiti uređaji i strojevi. Zadnji prekidač napaja primarnu stranu transformatora za rasvjetu.



Slika 13: Napajanje potrošača iz polja potrošnje GRP-a

Sekundarna strana transformatora za rasvjetu spojena je na ploču rasvjete 220 V koja može biti izvedena kao posebna ploča ili u sklopu GRP-a kada predstavlja posebno polje za napajanje potrošača 220 V. S ploče rasvjete napajaju se razdjelnici rasvjete raspoređeni po cijelom brodu te različiti jednofazni potrošači. Svi vodovi koji se razvode s ove ploče štite se dvopolnim automatskim osiguračima.

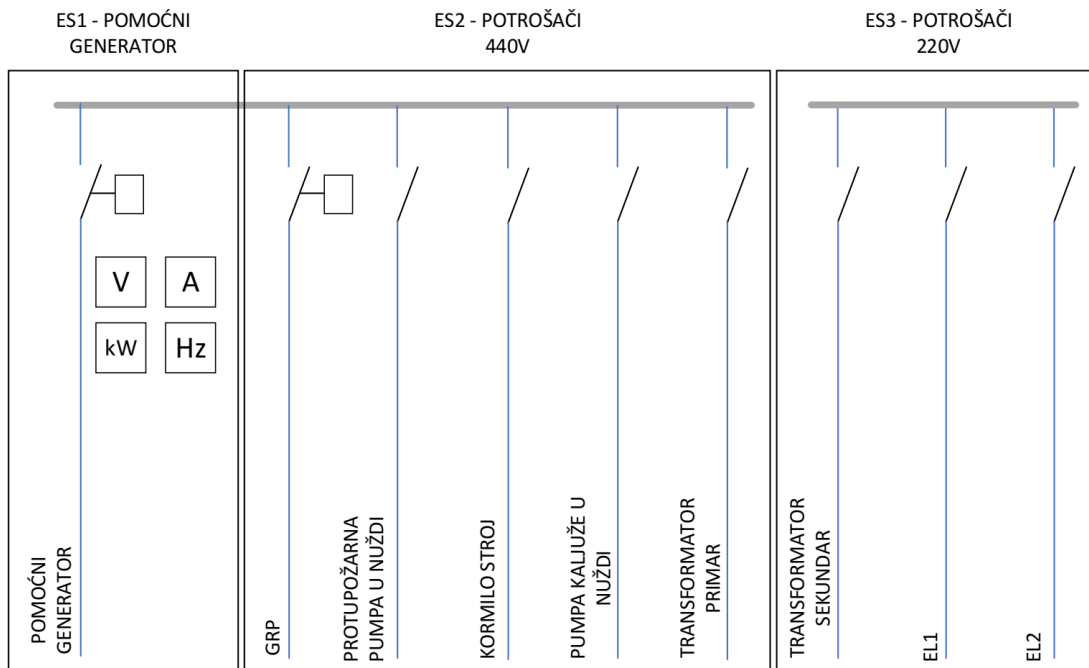
Sva oprema i električni spojevi u GRP-u trebaju biti pregledno označeni. Rasvjeta treba biti postavljena tako da je vidljivost unutar ploče zadovoljavajuća. Na ploču se ugrađuju rukohvati, a pod oko ploče treba biti od odgovarajućeg izolacijskog materijala.

2.4.2. Pomoćna rasklopna ploča

Pomoćna rasklopna ploča (PRP), kako je već navedeno, smještena je u prostoru u kojem se nalazi i pomoćni generator. Taj se prostor nalazi iznad glavne palube. PRP se napaja preko GRP-a u normalnim pogonskim uvjetima. Kada dođe do ispada GRP-a, napajanje preuzima pomoćni generator koji se automatski pokreće i uključuje na PRP. U tom se slučaju PRP razdvaja od GRP-a te se nastavlja napajanje samo onih potrošača koji su spojeni na PRP. Zadaća PRP osigurati napajanje trošila koja su bitna za sigurnost i pogon broda do ponovnog uključivanja glavnih generatora u mrežu.

Putem PRP-a najčešće se vrši napajanje pomoćnih protupožarnih pumpi, kompresora zra-ka za nuždu, kormila stroja, pomoćne rasvjetu, sustava za punjenje akumulatorskih bateri-ja, navigacijske i radio opreme, automatike i alarmnog sustava.

PRP je izvedena i podijeljena na polja isto kao i GRP, samo ima manje priključenih potrošača te je manjih dimenzija. Na slici 14 prikazana je pomoćna rasklopna ploča u obliku jednopolne sheme. Sastoji se od generatorskog polja, polja potrošača 440 V i polja potrošača 220 V.



Slika 14: Shematski prikaz pomoćne rasklopne ploče

2.4.3. Razdjelnici snage i rasvjetе

Razdjelnici snage i razdjelnici rasvjetе su podploče izvedene u obliku električnih ormara i raspoređene po cijelom brodu. Razdjelnici snage napajaju većinom trofazna trošila 440 V, a razdjelnici rasvjetе rasvjetne krugove i jednofazna trošila 220 V. Razdjelnici su povezani s GRP-om kabelima većih dimenzija, a s njih se dalje preko automatskih osigurača napajaju trošila koja se nalaze u njihovoj blizini. Ovisno o tome štite li se jednofazni ili trofazni kabeli, automatski osigurači su dvopolne ili trolezne izvedbe. Razdjelnici su opremljeni i sklopka-ma za isključivanje dovodnog napona.

2.5. Električne zaštite brodskog ees-a

U elektroenergetskom sustavu broda upotrebljava se selektivna zaštita od kratkog spoja. Cilj je te zaštite isključivanje samo onog dijela sustava u kojem je nastao kratki spoj. U protivnom bi mali kvar mogao izazvati prekid električne energije na cijelom brodu.

Selektivna zaštita od kratkog spoja izvodi se na sljedeće načine:

- selektivnost po struji,
- selektivnost po vremenu,
- kombinirana selektivnost,
- zonska selektivnost.

Selektivnost po struji izvodi se tako da prekidači bliži trošilu imaju manju nazivnu struju od prekidača bliže izvoru. Na taj će se način prekidač bliže trošilu aktivirati prije ostalih i isključiti samo dio koji je u kvaru. Ova zaštita najčešće je primijenjena u krugovima rasvjete i manjih potrošača, a izvodi se osiguračima.

Selektivnost po vremenu odnosi se na vremensko kašnjenje prethodnih prekidača u strujnom krugu. Krajnji prekidač proradi trenutno, dok svaki prethodni kasni za 0,2 sek.

Kombinirana selektivna zaštita kombinira selektivnost po struji u blizini trošila i selektivnost po vremenu na strani generatora.

Zaštita koja se bazira na zonskoj selektivnosti funkcionira na način da prekidači međusobno komuniciraju tako da uvijek krajnji prekidač u odnosu na mjesto kvara isključi strujni krug. U slučaju prekida komunikacije, zaštita se odvija na osnovi selektivnosti po vremenu.

2.6. Upravljanje i automatika brodskog EES-a

U glavnoj rasklopnoj ploči broda nalazi se zaštita generatora i početna razina selektivne zaštite brodskog elektroenergetskog sustava. Također se preko nje izvodi nadzor i automatsko upravljanje generatorima i EES-om te opcionalno ručno upravljanje. Upravljanje se u pravilu uvijek izvodi u automatskom modu, osim u slučaju kvara ili neke druge specifične situacije.

Automatika upravlja ukupnom proizvodnjom i potrošnjom električne energije na brodu i brine da parametri električne energije budu u granicama dozvoljenih vrijednosti. Glavna je uloga automatike održavati proizvodnju i potrošnju električne energije u ravnoteži i spriječiti preopterećenja generatora u kojima bi došlo do reagiranja električnih zaštita i prekida napajanja električnom energijom (eng. blackout). Automatika cijelo vrijeme nadzire parametre u EES-u, ponajviše frekvenciju i napon, vrši regulaciju opterećenja i stabilizaciju frekvencije, te po potrebi, uključuje i isključuje pojedine generatore. Ako dođe do preopterećenja, automatika će isključiti manje važne potrošače dok se ne steknu uvjeti za njihovo ponovno uključivanje.

U slučaju uključivanja većeg trošila, automatski se šalje zahtjev kojim se utvrđuje dostatnost snage u mreži koja je potrebna za pokretanje tog trošila. Ako je zaliha snage nedovoljna, automatski se pokreće proces uključivanja sljedećeg generatora. Pomoćni motor koji je bio u pripremi, starta i ubrzava do potrebnog broja okretaja. Tada se vrši sinkronizacija i pripadajući generator uklapa se u mrežu. Nakon što je generator preuzeo dio opterećenja, omogućava se velikom trošilu da se priključi na mrežu. U slučaju isključivanja trošila, proces je suprotan, generator se isključuje, a ostali generatori preuzimaju preostalo opterećenje.

2.7. Ugradnja i ispitivanje sustava za prienos i razdiobu električne energije na brodu

Gradnja broda kompleksan je proces koji se odvija u više faza i u kojem sudjeluje veliki broj struka. Nakon izgradnje trupa broda i postavljanja glavnih brodskih strojeva i uređaja, u što spadaju i brodski generatori, može se započeti s elektromontažnim opremanjem broda. Preduvjet za polaganje kabela na brodu je postavljanje kabelskih trasa i glavne rasklopne ploče. Dalje je potrebno izraditi liste kabela prema elektrotehničkoj dokumentaciji s obzirom na smještaj električne opreme i kabelskih trasa na brodu. Najčešće se izrađuju liste kabela za: strojarnicu, vertikalne trase koje povezuju gornje i donje palube te uzdužne trase koje povezuju pramac i krmu broda. Na osnovi tih lista vrši se rezanje kabela potrebnih dužina te njihovo namatanje na kolute.

Polaganje kabela započinje dopremanjem koluta s pripremljenim i označenim kabelima na brod. Kabeli se zatim odmataju s koluta i provlače kroz kabelske trase planiranim putem te se grupiraju u snopove tako da se vrši razdvajanje kabela koji pripadaju grupi snage i grupi automatike. To je osnovna podjela pri grupiranju kabela, a ovisno o namjeni i specifičnosti broda mogu postojati i dodatne podjele. Nakon što su kabeli postavljeni na kabelske trase, učvršćuju se metalnim trakama koje su obložene gumom te plastičnim vezicama.

Proces spajanja električne opreme započinje pošto su kabeli postavljeni i učvršćeni, a oprema montirana. Označeni kabeli razvrstavaju se prema nacrtima i uvlače kroz uvodnice u električne uređaje, a potom se vrši njihovo spajanje. Kada brod dođe u završnu fazu opremanja, izvodi se provjera spojenih kabela, te ispitivanje i puštanje u rad svih električnih sustava.

Elektromontažno opremanje broda dug je proces tako da se na brodu istovremeno postavljaju kabeli, vrši montaža elektroopreme, obavlja spajanje i ispitivanje električnih sustava u različitim brodskim prostorima, ovisno o fazi završenosti pojedinog prostora i sustava.

2.7.1. Vježba 2 – Postavljanje brodskih kabela

Zadatak

Postaviti dvije grupe kabela na kabelsku trasu i kroz kabelski prolaz te ih pravilno učvrstiti, a kabelski prolaz zatvoriti pomoću modula za brtvljenje.

Potrebna oprema

- kabele različitih tipova i dimenzija
- kabelska trasa
- okvir
- plastične vezice
- metalna trake i guma za učvršćivanje kabela
- elementi za zatvaranje kabelskog prolaza
- alat za stezanje traka i zatvaranje prolaza

Opis vježbe

Potrebno je postaviti kabele na kabelsku trasu i kroz kabelski prolaz tako da se grupiraju u dva odvojena snopa od kojih jedan snop čine napojni kabele koji predstavljaju grupu snaga, a drugi signalni kabele koji predstavljaju grupu automatika. Zatim je potrebno učvrstiti kabele pomoću metalnih traka i plastičnih vezica. Između metalne trake i kabela obavezno je postavljanje gumene trake koja sprječava oštećenje kabela. Metalne trake se postavljaju pomoću alata za stezanje traka na način da kabele budu čvrsto ukrućeni, ali da ne dođe do njihove deformacije.

Zatim je potrebno postaviti kabele kroz kabelski prolaz. Kabelski prolaz predstavlja okvir koji služi za prolaz kabela kroz brodske pregrade. Navedeni prolaz može se koristiti i kod uvlačenja kabela u električni ormar. Okvir s postavljenim kabelima popunjava se posebnim elementima koji osiguravaju dobro učvršćivanje kabela, vodonepropusnost i zaustavljanje požara. Na svaki kabel postavlja se odgovarajući modul prema dimenziji kabela te se na taj način osigurava dobro brtvljenje. Nakon što se poslože svi kabele, vrši se postavljanje završnog elementa koji u potpunosti učvrsti module i kabele u prolazu.

2.7.2. Vježba 3 – Priprema kabela za spajanje

Zadatak

Skinuti vanjski i unutrašnji plašt s grupe kabela, uvući ih u električni ormar i pripremiti za spajanje.

Potrebna oprema

- prethodno postavljeni kabele
- električni ormar s uvodnicama

- električarski alat
- mjerni instrument multimeter

Opis vježbe

Potrebno je s kabela koji su postavljeni i učvršćeni na kablskoj trasi skinuti vanjski i unutrašnji plašt, pripremiti metalni oplet za uzemljenje te ih uvući u električni ormar kroz uvodnice koje su prethodno postavljene i kompletirane s odgovarajućim podloškama i gubicama za brtvljenje. Nakon toga treba stegnute glave uvodnice te provjeriti da li su kabele dobro učvršćeni.

Kada su svi kabele uvučeni u električni ormar i uvodnice stegnute, potrebno je uzemljiti metalne oplete svih kabela. Sve metalne oplete povezati plastičnim vezicama i pomoću stopica spojiti s vijkom koji predstavlja uzemljenje električnog ormara. Na kraju je potrebno ispitati kabele u svrhu identifikacije pomoću multimetra, te izmjeriti otpor uzemljenja i otpor izolacije svih vodiča prema masi.

2.7.3. Vježba 4 – Spajanje kabela

Zadatak

Spojiti prethodno pripremljene kabele na pripadajuće stezaljke u električnom ormaru prema priloženom nacrtu.

Potrebna oprema

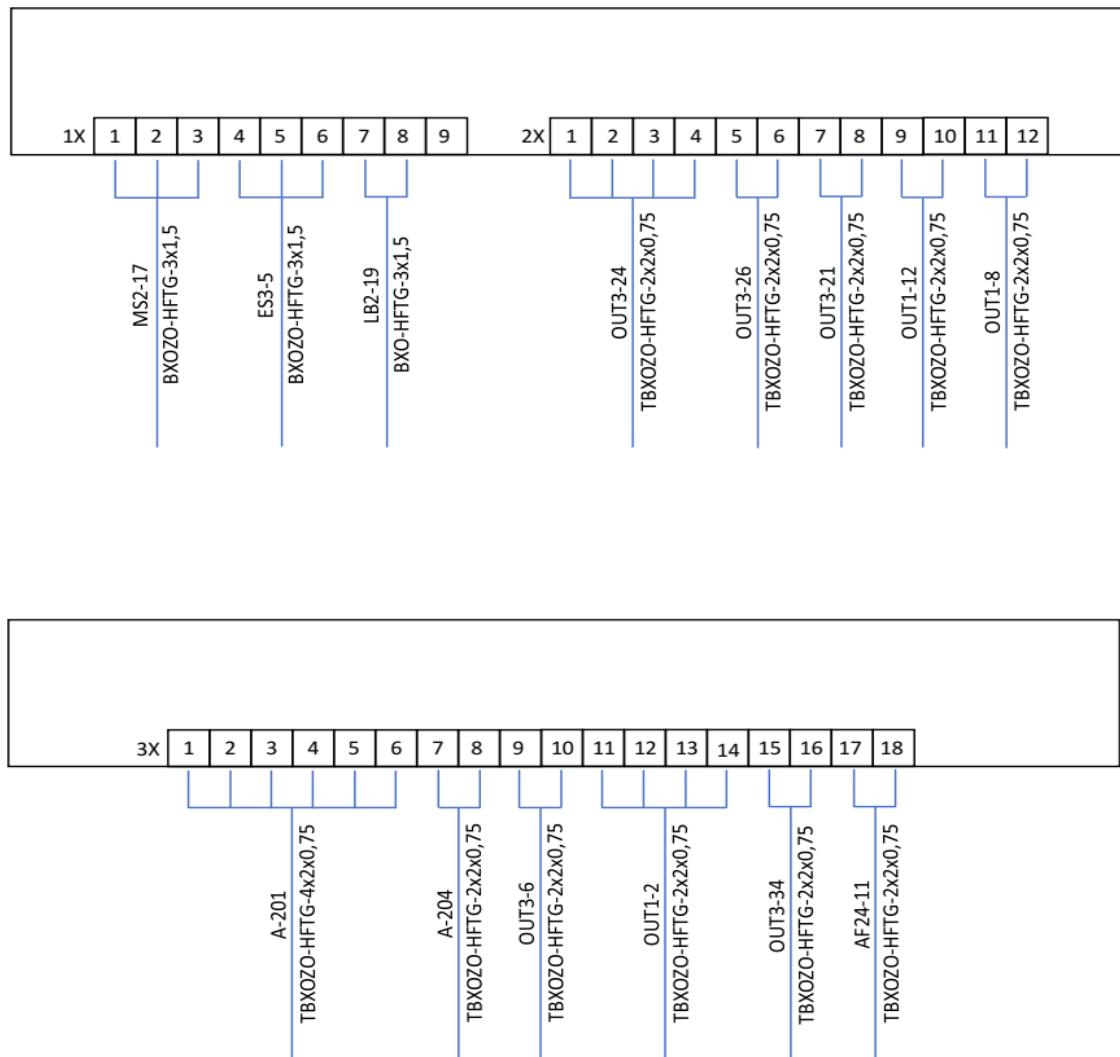
- električni ormar s pripremljenim kabelima
- električarski alat
- mjerni instrument multimeter

Opis vježbe

Kabele koji su prethodno uvučeni u ormar i uzemljeni potrebno je spojiti na pripadajuće redne stezaljke u električnom ormaru prema priloženoj električnoj shemi (slika 15). Skidanje električne izolacije treba biti izvedeno na način da je vodič ogoljen onoliko koliko zahtjeva stezaljka te da nema oštećenja samog vodiča. Zatim je potrebno označiti vodič prema oznaci stezaljke na koju se spaja. Prilikom spajanja obratiti pozornost da je vodič postavljen u odgovarajuću stezaljku, da ogoljeni dio vodiča odgovara dubini stezaljke i da je stezaljka dobro stegnuta kako bi se osigurao kvalitetan električni spoj. Nakon izvršenog spajanja treba provjeriti je li svaki od vodiča ispravno spojen i čvrsto ukrućen.

Potom je potrebno vodiče povezati plastičnim vezicama kako bi bili učvršćeni, a redne stezaljke pregledne. U svrhu provjere ispravnosti spajanja potrebno je sve vodiče ispitati pomoću multimetra mjerenjem otpora tako da se utvrdi neprekinutost veze svih vodiča od početka kabela do spojnog mjesta.

Prilog



Slika 15: Električna shema spajanja kabela u električnom ormaru

2.7.4. Vježba 5 – Jednopolna shema GRP-a

Zadatak

Izraditi jednopolnu shemu glavne rasklopne ploče broda s prikazom svih glavnih elemenata GRP-a na osnovu zadanih generatora i potrošača.

Potrebna oprema

- Papir
- Pisaćí pribor

Opis vježbe

Treba se detaljno upoznati s navedenim nacrtima GRP-a u potpoglavlju 2.4.1 podijeljenim prema poljima ploče. Potrebno je sagledati generatore i potrošače koji su spojeni na ploču, proučiti sklopne uređaje, električne zaštite, upravljačke i mjerne elemente te objasniti princip djelovanja pojedinih polja GRP-a. Nakon navedenog nacrtati jednopolnu shemu GRP-a po odgovarajućim poljima s blokovskim prikazom uređaja za zaštitu, upravljanje i mjerenje. U prilogu su prikazani generatori i potrošači koji su spojeni na GRP i koje treba smjestiti u nacrt. Kao ogledni primjer koristiti jednopolnu shemu PRP-a na slici 14.

Prilog

Popis generatora i potrošača GRP-a

MS 1

- pumpa protupožarna/opće službe
- pumpa ulja glavnog stroja 1
- tlačni ventilator strojarnice 1
- reverzibilni ventilator strojarnice
- pumpa balasta 1
- glavna rashladna pumpa morske vode 1
- glavna rashladna pumpa slatke vode niske temperature 1
- glavna rashladna pumpa slatke vode visoke temperature 1
- pomoćno električno turbopuhalo 1

MS 2

- palubna dizalica 1
- glavni transformator rasvjete 1 primar
- kompresori i ventilatori klima jedinice
- glavni zračni kompresor 1
- razdjelnik snage PB1
- razdjelnik snage PB3
- upravljački ormar kompozitnog kotla
- brodska ledenica
- pramčano sidreno/pritezno vitlo 1
- krmeno pritezno vitlo 1
- punjač baterija 1

MS 3

- generator 1, 440V, 60Hz

MS 4

- uređaj za sinkronizaciju
- pomoćna rasklopna ploča
- pumpa kormilarskog stroja 1
- kutija priključka spoj s kopna
- sabirnički rastavljač

MS 5

- generator 2, 440V, 60Hz,

MS 6

- palubna dizalica 2
- glavni transformator rasvjete 2 primar
- glavni zračni kompresor 2
- razdjelnik snage PB2
- razdjelnik snage PB4
- razdjelnik snage PB5
- pramčano sidreno/pritezno vitlo 2
- krmeno pritezno vitlo 2
- punjač baterija 2

MS7

- pumpa opće službe/kaljuže/protupožarna
- pumpa ulja glavnog stroja 2
- tlačni ventilator strojarnice 2
- pumpa balasta 2
- glavna rashladna pumpa morske vode 2
- glavna rashladna pumpa slatke vode niske temperature 2
- glavna rashladna pumpa slatke vode visoke temperature 2
- pomoćno električno turbopuhalo 2

MS8

- glavni transformator rasvjete 1 sekundar
- razdjelnici rasvjete LB1 - LB5
- strujni krugovi Q1-Q8

MS9

- glavni transformator rasvjete 2 sekundar
- razdjelnici rasvjete LB6 - LB10
- strujni krugovi Q9-Q16

2.7.5. Vježba 6 - Priprema kabela za postavljanje

Zadatak

Napraviti listu kabela za dio strojarnice broda na osnovu koje će se moći pripremiti i postaviti kabele u navedenom brodskom prostoru.

Potrebna oprema

- papir
- pisaći pribor

Opis vježbe

Potrebno se upoznati s priloženim nacrtima te izraditi listu kabela koja se koristi za odabir i pripremu kabela prije njihovog polaganja na brodu. Lista kabela je tablica koja se sastoji od naziva svakog pojedinog kabela, njegovog tipa i dimenzije, dužine, početnog i krajnjeg električnog uređaja te oznake puta kabela. Primjer liste kabela naveden je u prilogu u tablici 2.

Slika 16 prikazuje smještaj elektroopreme u brodskoj strojarnici. Na slici 17 je električna blok shema na kojoj su prikazani kabele koji se postavljaju prema generatorima s GRP-a, alarmnog kabineta OUT1 te razdjelnika istosmjernog napona A24. Prikazani su i kabele prema primaru i sekundaru transformatora glavne rasvjete. Prilikom izrade liste potrebno je navesti sve kabele prikazane u električnoj blok shemi, podijeliti ih u grupe snage i automatike te voditi računa da su posloženi prema planiranom redosljedu polaganja na kabelaške trase.

Dužine kabela treba odrediti prema nacrtu smještaja kabelaške trase (slika 18) koji je napravljen u mjerilu- razmak između četiri susjedne police kabelaške trase iznosi 1 m. Kabelaške trase possu tavljene u strop strojarnice, a visina stropa je 4 m. Prilikom određivanja dužine kabela potrebno je predvidjeti da kabele ulaze u električne uređaje s donje strane i da u uređaju mogu doseći do najudaljenije točke.

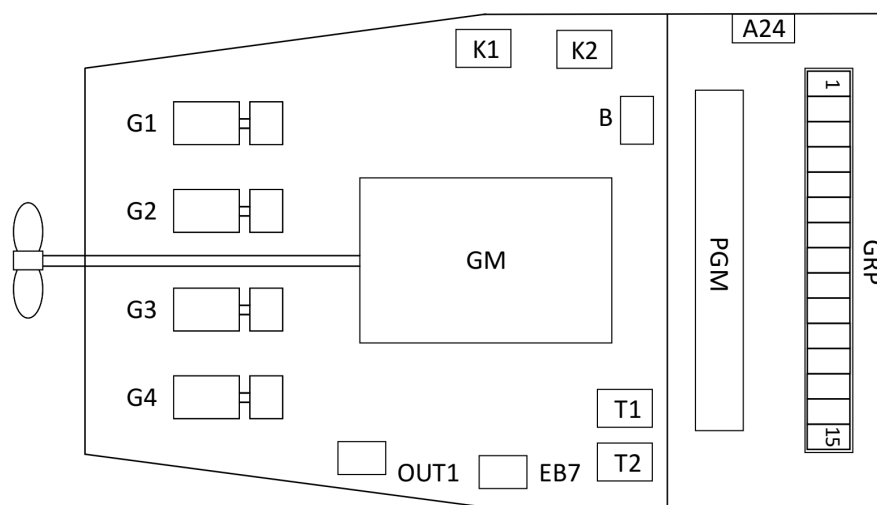
Zatim na nacrtu smještaja kabelaške trase treba ucrtati put kabelaških snopova tako da su vidljivo razdvojeni snopovi snage (P) i automatike (A). Kabele tipa TBX staviti u grupu automatika, a ostale u grupu snaga.

Sljedeće je potrebno na nacrtu smještaja kabelaške trase označiti brodske svjetiljke glavne rasvjete (L) i pomoćne rasvjete (E) tako da pomoćna rasvjeta iznosi 1/3 glavne rasvjete i da je raspodijeljena ravnomjerno u prostoru strojarnice. Nacrtati strujne krugove rasvjete s tim da se glavna rasvjeta lijeve strane napaja iz polja MS14, desna strana iz polja MS15 GRP-a, a pomoćna rasvjeta iz razdjelnika EB7. Kabele za rasvjetu su tipa BX0 3x1,5 mm², a grupiraju se s kabelašima snage. Na kraju je potrebno odrediti ukupnu dužinu kabela potrebnog za rasvjetu i unijeti je u listu kabela.

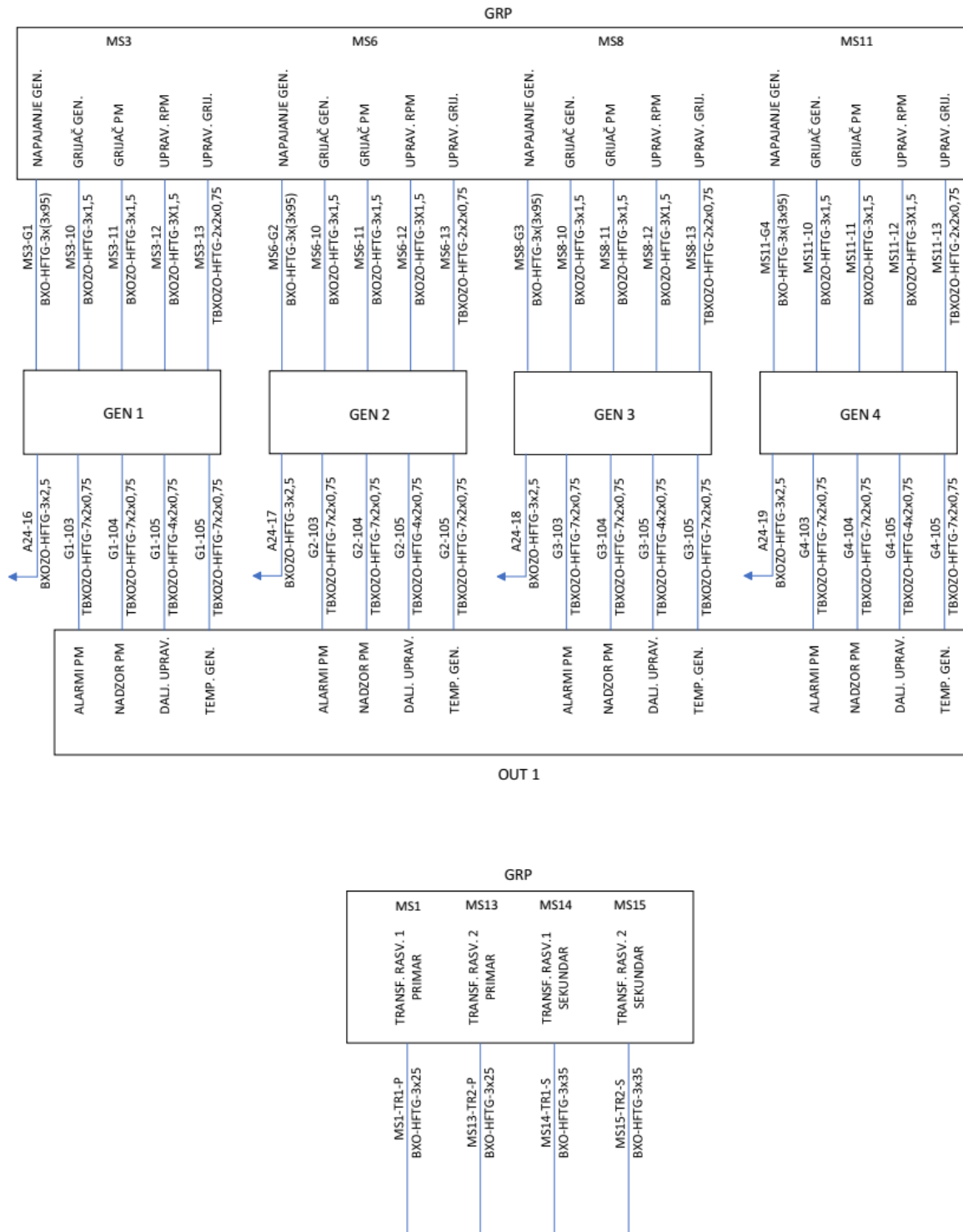
Prilog

Tablica 2: Primjer liste kabela

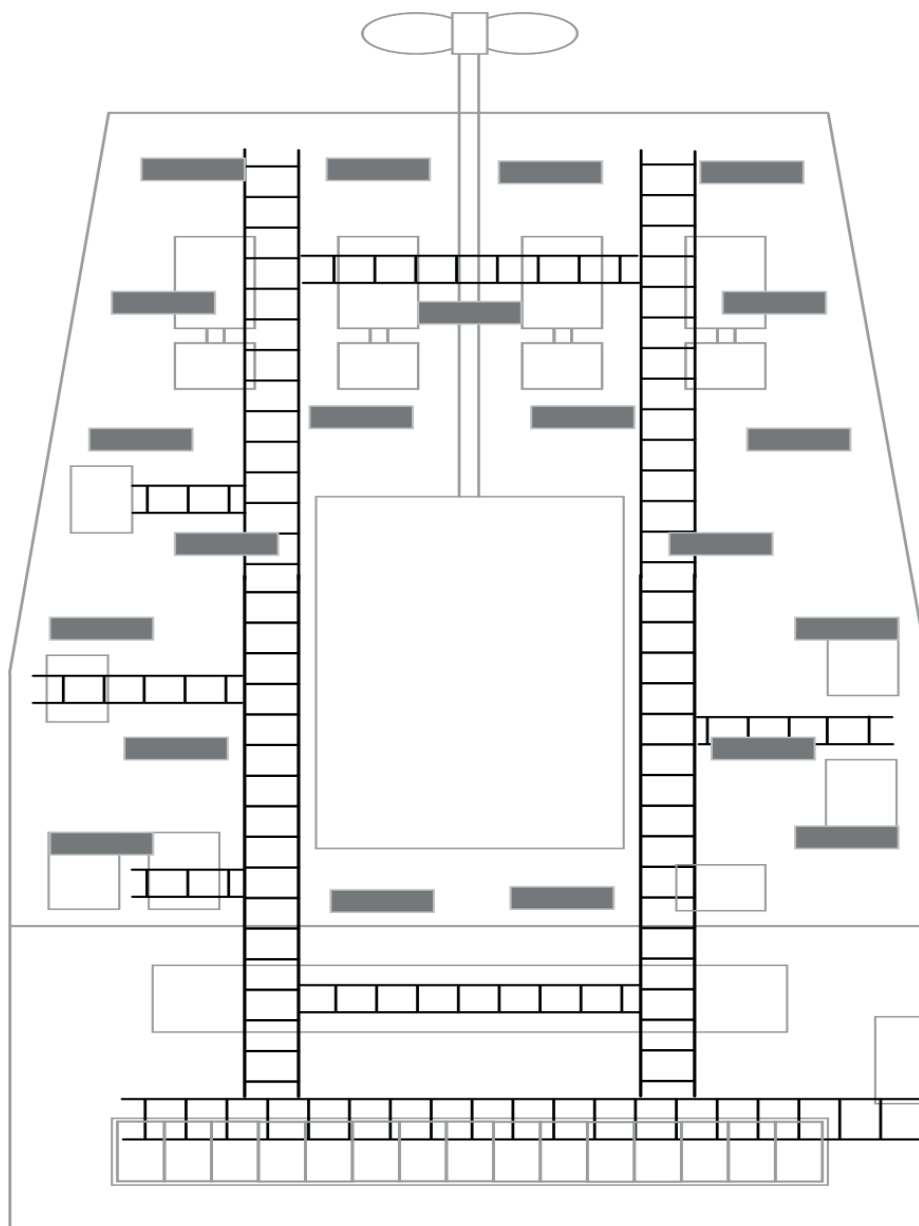
Red. br.	Naziv kabela	Tip	Dimenzija	Dužina [m]	Početni uređaj	Krajnji uređaj	Put	Grupa	Napomena
1.	MS3-G1	BX0-HFTG	3x3x(1x95)	21	GRP MS3	GEN 1	Lijeva trasa	P	Snop od 3 ili 6 kabela
2.									



Slika 16: Nacrt smještaja elektroopreme u strojarnici



Slika 17: Električna blok shema



Slika 18: Nacrt smještaja kabelaške trase

3

POGLAVLJE

BRODSKI GENERATORI

Nakon ovog poglavlja moći ćete:

- opisati elektroenergetski sustav broda
- razlikovati brodske električne strojeve i uređaje
- objasniti upravljanje i automatiku brodskih sustava
- provoditi održavanje električnih sustava na plovilima
- spojiti i pustiti u rad električni sustav prema tehničkoj dokumentaciji
- utvrditi ispravnost i prema potrebi otkloniti kvar na električnom sustavu.

3.1. Vrste generatora na brodu

Brodski generatori dijele se s obzirom na pogon na:

- dizelske generatore,
- osovinske generatore,
- turbinske generatore,

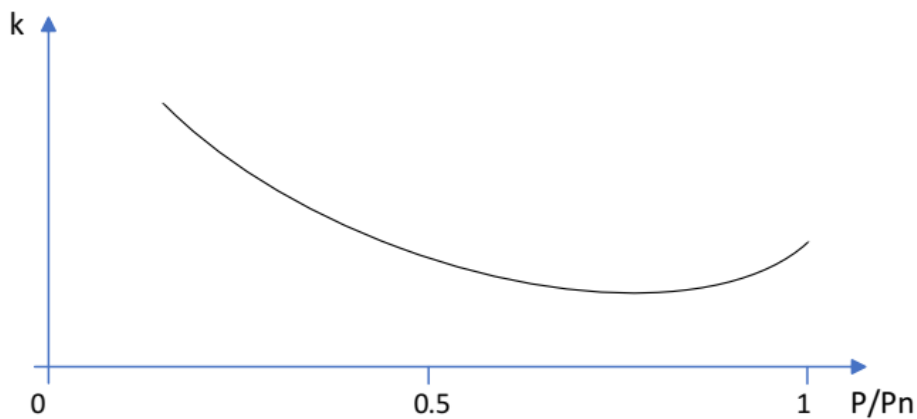
te s obzirom na namjenu na:

- glavne generatore,
- pomoćne generatore.

Turbinske generatore pogoni plinska ili parna turbina koristeći otpadnu toplinu glavnog porivnog stroja ili kotlova. Prelaskom s parnog stroja na dizelske motore njihova upotreba je postala znatno rjeđa.

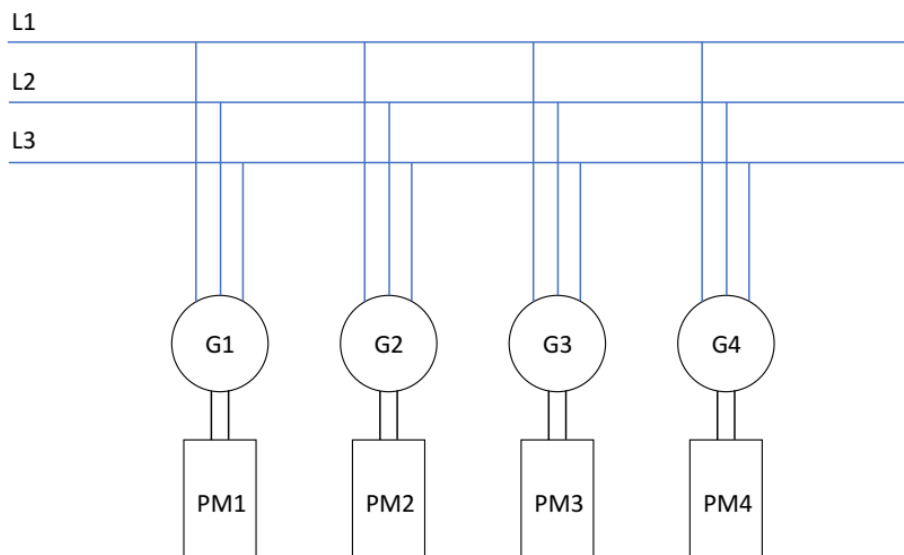
3.1.1. Dizelski generatori

Dizelski su generatori strojevi koji se najčešće koriste za proizvodnju električne energije na brodu. Pojam dizelski generator odnosi se na generator pogonjen dizelskim motorom. Navedeni dizelski motor još se naziva i pomoćni motor, za razliku od glavnog motora koji se odnosi na porivni stroj broda. Razlog za čestu upotrebu dizelskih motora kao pogona generatora na brodovima leži u tome što imaju niz prednosti u odnosu na druge pogone, na primjer: kratko vrijeme upućivanja u rad, dobra regulacija brzine vrtnje te visok stupanj korisnosti u usporedbi s drugim toplinskim strojevima. Hlađenje ovih motora postiže se slatkom vodom koja kruži u zatvorenom sustavu, a taj sustav hladi se pomoću rashladnika hlađenih morem ili ventilatorima. Dizelski motori imaju mali broj okretaja pa pokreću generatore bez reduktora. Budući da najčešće rade u trajnom radu, njihov stupanj korisnosti značajno utječe na potrošnju goriva. Korisnost dizelskih motora ovisi o njihovom opterećenju i naglo opada kada je opterećenje ispod 50% nazivne vrijednosti. Najveću korisnost postižu kada rade u području oko 75% nazivnog opterećenja. Na slici 19 prikazana je ovisnost potrošnje goriva i dizelskog motora koji pokreće generator o stupnju njegovog opterećenja P/P_n . Iz grafa je vidljivo da pri malom opterećenju dolazi do veće potrošnje goriva, čime i stupanj korisnosti dizelskog motora značajno opada.



Slika 19: Prikaz ovisnost potrošnje goriva o stupnju opterećenja dizelskog motora

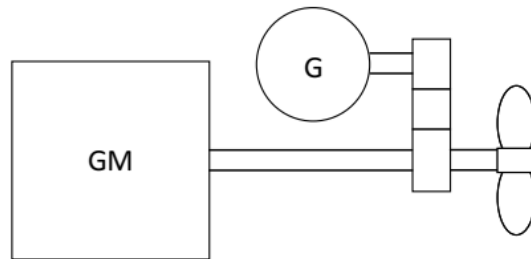
Malo opterećenje dovodi i do većeg ispuštanja štetnih plinova, stvaranja čađe u motoru te češćeg i zahtjevnijeg održavanja. Da bi se postiglo da pomoćni motori što više rade u optimalnom području, brodovi imaju dva ili više glavnih generatora koji se uključuju prema potrebi. Veliki brodovi imaju najčešće 2-4 generatora, a u slučaju električne propulzije taj broj može biti i veći. Na slici 20 prikazana su četiri agregata za proizvodnju električne energije priključena na elektroenergetski sustav broda. Agregat čini pogonski stroj i pogonjeni stroj; u ovom slučaju pogonski stroj je dizelski motor, a pogonjeni stroj trofazni sinkroni generator.



Slika 20: Brodski agregati spojeni na EES broda

3.1.2. Osovinski generatori

Osovinski generatori (eng. shaft generator) jesu brodski generatori koji za pogon koriste glavni porivni stroj broda. Kako im nije potreban poseban pogonski stroj, to uvelike smanjuje troškove ugradnje ovih generatora te kasnije troškove proizvodnje električne energije. Kod ovakve izvedbe generatora postiže se veća ekonomičnost jer je stupanj korisnosti glavnog stroja veći od stupnja korisnosti pomoćnih motora koji pogone dizelske generatore. Ovi generatori mogu biti većih snaga jer je snaga glavnog stroja znatno veća od snage pomoćnih motora. Ovisno o tome je li glavni porivni stroj broda srednjehodnog ili sporohodnog tipa, osovinski generatori spajaju se direktno ili preko multiplikatora na osovinski vod. Multiplikatori su uređaji koji povećavaju brzinu okretanja i na taj način postižu potreban broj okretaja generatora. Na slici 21 prikazano je spajanje osovinskog generatora G na glavni osovinski vod kojeg pokreće glavni motor GM u svrhu pogona broskog vijka.



Slika 21: Prikaz spajanja osovinskog generatora na glavni osovinski vod

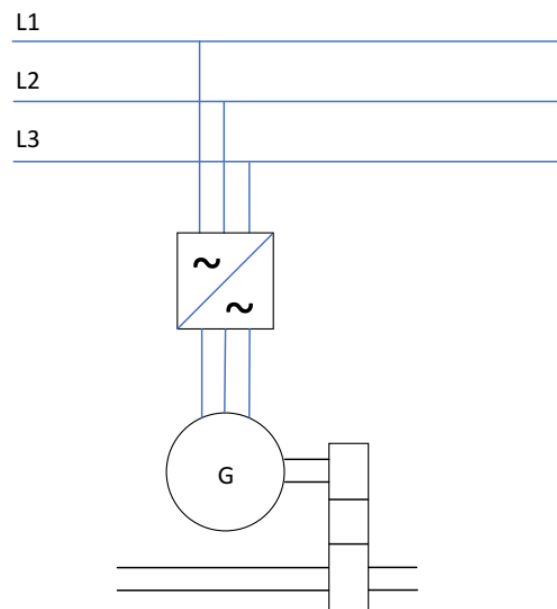
Iako osovinski generatori imaju određene prednosti, glavni su nedostatak ograničenja vezana za održavanje stalne brzine okretanja osovine, a samim time i konstantne frekvencije napona generatora. Kako brodski vijak nema stalnu brzinu vrtnje, već ovisi o uvjetima plovidbe, tako i direktno spojen generator na osovinu glavnog stroja ne bi imao konstantnu frekvenciju napona koji daje u brodsku električnu mrežu. Da bi se postigla stalna frekvencija napona generatora, koriste se različite izvedbe za pogon osovinskih generatora te za pretvorbu električne energije.

Jedna od izvedbi je spajanje osovinskog generatora na osovinski vod na kojem se nalazi brodski vijak sa zakretnim krilima. U tom slučaju osovina ima stalnu brzinu okretanja, a potrebni poriv broda mijenja se promjenom kuta zakreta krila na broskom vijku.

Druga je mogućnost spajanje osovinskog generatora na osovinu na kojoj se nalazi brodski vijak s krutim krilima preko varijatora. Varijator je uređaj koji održava stalnu brzinu okretanja, iako se brzina osovinskog voda mijenja.

U trećem se slučaju osovinski generator spaja na osovinu s broskim vijkom koji ima kruta krila tako da se ne utječe na brzinu okretanja, već se konstantna frekvencija održava pomoću pretvarača frekvencije. Generator je električki spojen na brodsku mrežu preko pretvarača, i u tom slučaju njegov napon može biti promjenjive frekvencije, s tim da na strani

brodske električne mreže pretvarač održava konstantan napon i frekvenciju. Kod ovakve izvedbe kao pretvarači frekvencije najčešće se upotrebljavaju sinkrokonverteri. Sinkrokonverter je indirektni pretvarač frekvencije s utisnutom strujom. Uz njega je potreban i sinkroni kompenzator koji ima funkciju, između ostalog, i osiguravanja potrebne jalove energije u brodskom EES-u. Nedostatak sinkrokonvertera je što znatno zagađuje EES višim harmonicima. Da bi se izbjegli navedeni nedostaci, u novije vrijeme sve se više koristi širinsko-impulsni modularni (PWM-Pulse Width Modulated) pretvarač frekvencije. On je indirektni pretvarač frekvencije s utisnutim naponom. PWM pretvarač s aktivnim ispravljačem unosi manje zagađenje u EES broda te predstavlja jednostavnije rješenje za upotrebu osovinskih generatora s promjenjivom brzinom okretanja. Na slici 22 prikazan je način spajanja osovinskog generatora na električnu mrežu preko frekvencijskog pretvarača.



Slika 22: Osovinski generator spojen na mrežu preko frekvencijskog pretvarača

Osovinski generatori uglavnom se koriste tijekom plovidbe i najčešće nisu predviđeni za dugotrajan paralelan rad s dizelskim generatorima. Iako je glavni stroj pouzdaniji od pomoćnih motora, problem se može pojaviti kod nekih specifičnih situacija kao što je jako valovito more kada dolazi do izrona broskog vijka te nagle promjene brzine okretanja osovine, a samim time i brzine okretanja generatora. U tom slučaju može reagirati električna zaštita i isključiti generatore, što dovodi do nestanka električne energije na cijelom brodu i gubitka poriva.

Pomoćni motori u početku su koristili samo dizelsko gorivo (DO). Međutim, kako je vrijeme odmicalo, i oni su počeli koristiti teško gorivo (HFO) koje je jeftinije od dizelskog. Stoga je upotreba dizelskih generatora postala donekle ekonomičnija i jednostavnija pa se osovinski generatori u novije vrijeme sve manje upotrebljavaju.

3.1.2. Pomoćni generator

Pomoćni generator ili generator za nužnost poseban je generator koji se nalazi izvan strojarnice. Pogonjen je dizelskim motorom, a služi da bi osigurao napajanje neophodnih potrošača kad dođe do ispada glavne rasklopne ploče. Ti potrošači spojeni su preko pomoćne rasklopne ploče koja se u normalnom pogonu napaja s GRP-a. Kada GRP ostane bez napona, pomoćni generator automatski se pokreće i vrši napajanje PRP-a čime osigurava sigurnu plovidbu broda do ponovnog uključivanja GRP-a.

Pomoćni generator ima izvedenu električnu zaštitu samo od kratkog spoja, s tim da se preopterećenje alarmira, ali se dopušta daljnji rad. Njegovo upravljanje i automatika moraju biti izvedeni tako da mogu pokrenuti generator ako dođe do nestanka električne energije na brodu. Nužno je da ima nezavisne sustave za hlađenje, dovod goriva te pokretanje. Hlađenje je najčešće zračno, a pokretanje može biti izvedeno preko elektropokretača koji napaja posebna baterija ili preko komprimiranog zraka. Pomoćni generator može se pokrenuti i ručno.

Osim rada u slučajevima kada GRP ostane u beznaponskom stanju, ovaj generator može biti dimenzioniran tako da se može koristiti i kada je brod na vezu, a potrošnja električne energije mala.

3.2. Zaštita generatora

Kako se u elektroenergetskom sustavu broda mogu pojaviti različite nepravilnosti koje odstupaju od normalnog pogonskog stanja, generatore kao najbitnije elemente EES-a potrebno je zaštititi od oštećenja ili u najgorem slučaju od požara i uništenja. Električne zaštite generatora prvenstveno se odnose na:

- zaštitu od kratkog spoja,
- prekostrujnu zaštitu,
- podnaponsku zaštitu,
- zaštitu od preopterećenja,
- zaštitu od povratne snage,
- termičku zaštitu.

Struje koje se javljaju pri kratkom spoju jako su velike pa je potrebno da zaštita od kratkog spoja reagira trenutno ili zbog selektivnosti u kraćem vremenskom periodu. Ova zaštita reagira kod struje koja je veća od dvostruke nazivne struje, a izvodi se na svakoj fazi generatora.

Prekostrujna zaštita aktivira se kad struja naraste iznad 120% nazivne vrijednosti. Ona ima vremensku zadržku kako bi mogla proraditi zaštita od preopterećenja.

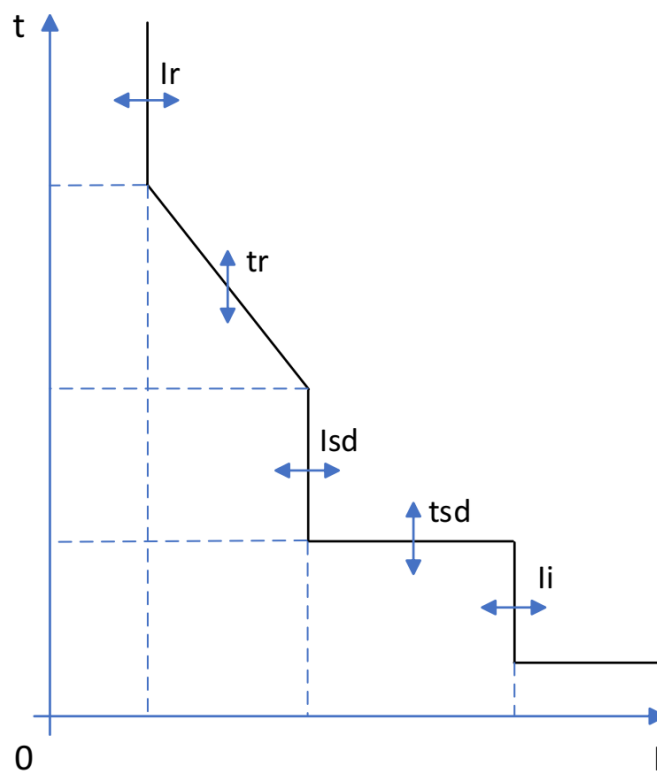
Podnaponska zaštita također reagira u slučaju velikih struja kada dolazi do pada napona, a aktivira se kada napon padne ispod 85% nazivne vrijednosti.

Preopterećenjem se smatra kada generator radi u području iznad nazivne snage. Zaštita od preopterećenja isključuje manje bitna trošila kako bi se opterećenje generatora smanjilo.

Do povratne snage dolazi kada generator ne daje djelatnu snagu u mrežu, nego je uzima iz mreže. U tom slučaju generator radi kao motor. Ova zaštita obično je postavljena tako da reagira kada iznos povratne snage dosegne vrijednost 8-15% nazivne snage.

U generatoru su smještene termo sonde koje mjere temperaturu generatora. U slučaju porasta temperature iznad dozvoljene vrijednosti, aktivira se termička zaštita i isključuje generator.

Nužno je da električne zaštite budu uvijek u funkciji, bilo da se vrši automatsko ili ručno upravljanje generatorima. Stoga ove zaštite predstavljaju zaseban podsustav, odvojen od sustava automatike generatora. Zaštita od kratkog spoja, prekostrujna zaštita i podnaponska zaštita izvedene su u samom generatorskom prekidaču, a ostale zaštite nalaze se u generatorskom polju GRP-a i isključuju prekidač putem vanjskih upravljačkih elemenata. Na slici 23 prikazana je vremensko-strujna karakteristika zaštitnog sklopnog uređaja. Ovi uređaji koriste se za zaštitu generatora, elektromotora, transformatora i u distribuciji električne energije. Pri namještanju električnih zaštita na generatorskom prekidaču potrebno je s obzirom na nazivnu struju generatora, podesiti struju I_r i vrijeme t_r za djelovanje spore zaštite), struju I_{sd} i vrijeme t_{sd} (za djelovanje brze zaštite) te struju I (za trenutnu zaštitu).



Slika 23: Vremensko-strujna karakteristika zaštitnog sklopnog uređaja

3.3. Upravljanje i automatika generatora

Upravljanje i automatika generatora odnose se na upravljanje pomoćnim motorom, na regulaciju dizelskog generatora te na paralelan rad više generatora.

3.3.1. Upravljanje pomoćnim motorom

Dizelski motori, najčešći pogon brodskih generatora, nazivaju se često i pomoćnim motorima. Da bi ovi motori mogli raditi, potrebno im je osigurati dovod goriva, hlađenje, podmazivanje, sustav za pokretanje, sustav za zaustavljanje i sl. Svi ovi podsustavi pomoćnih motora nazivaju se službe motora. Automatsko upravljanje dizelskog motora odnosi se na: automatsko pokretanje, normalan režim rada, automatsku regulaciju brzine vrtnje, zaustavljanje te nadzor i dijagnostiku stanja tijekom rada.

Dizelski motor potrebno je zagrijati i osigurati mu podmazivanje prije upućivanja u rad kako bi što prije postigao normalne radne uvjete. Za to se brine sustav predgrijavanja i predpodmazivanja. Motor je nakon toga u pripremi, odnosno spreman za rad (eng. stand-by). Pokretanje motora vrši se uputnim zrakom koji je pod tlakom. Nakon uspješnog starta, postepeno se povećava brzina motora. Kada je motor doveden u nominalni režim rada, može početi proces uključivanja generatora u mrežu.

3.3.2. Regulacija dizelskog generatora

Dizelski generator je agregat kojeg čini pogonski stroj, odnosno dizelski motor, te trofazni sinkroni generator. Za pravilan rad generatora potrebno je regulirati frekvenciju i napon.

Brodski generatori u pravilu su sinkroni generatori. Kako je poznato iz principa rada sinkronih generatora, frekvencija inducirano napona generatora proporcionalna je brzini okretanja rotora prema sljedećoj formuli:

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

Jednadžba 1: Odnos frekvencije i broja okretaja sinkronog generatora

gdje je:

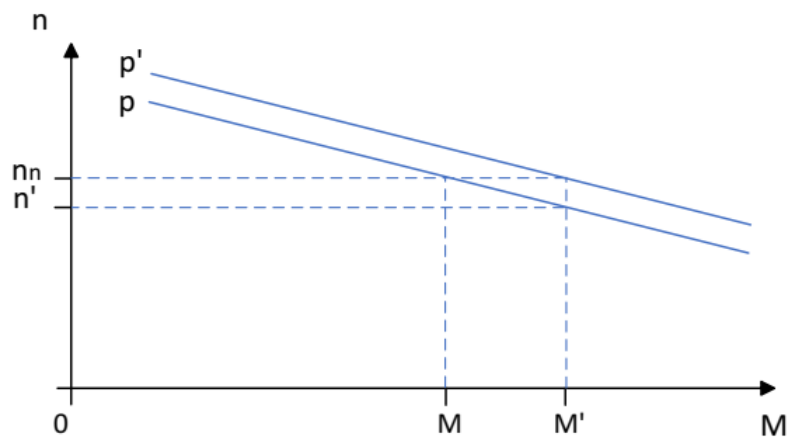
f – frekvencija napona [Hz]

n – broj okretaja generatora [o/min]

p – broj pari polova generatora

Iz navedenog je izraza vidljivo da je za održavanje konstantne frekvencije potrebno održavati stalnu brzinu okretaja generatora.

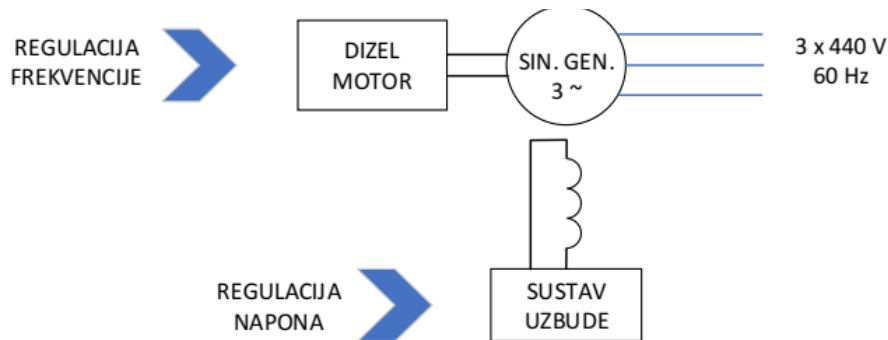
Da bi imali konstantnu frekvenciju na izlazu generatora, dizelski motor treba se okretati stalnom brzinom bez obzira na opterećenje. Stoga je bitna regulacijska karakteristika dizelskog motora koja prikazuje odnos broja okretaja motora i momenta. Na osnovi ove karakteristike vrši se regulacija broja okretaja, a obavlja je regulator broja okretaja dizelskog motora (eng. speed governor) reguliranjem dovoda goriva. Ako povećanjem opterećenja dođe do pada broja okretaja, regulator poveća količinu goriva prema motoru. U tom slučaju navedena se karakteristika malo podigne i broj okretaja vrati se na nazivnu vrijednost. U suprotnom, regulator smanji dovod goriva te se karakteristika spusti. Na slici 24 nalazi se regulacijska karakteristika dizelskog motora. U navedenim se uvjetima dizelski motor pri opterećenju M okreće brzinom n_n koja odgovara nazivnoj frekvenciji generatora. U slučaju povećavanja opterećenja na M' , dolazi do usporavanja motora na brzinu n' . U tom slučaju regulator broja okretaja povećava količinu goriva prema dizelskom motoru i on ubrzava na zahtijevanu brzinu n_n , a regulacijska karakteristika se podiže na p' .



Slika 24: Regulacijska karakteristika dizelskog motora

Nakon toga je potrebno provesti regulaciju napona sinkronog trofaznog generatora. Regulacija se provodi podešavanjem struje uzbude. Uzbudni namot sinkronog generatora nalazi se na rotoru i napaja se istosmjernom strujom. Brodski generatori imaju najčešće beskontaktnu uzbudu, a to znači da su izbjegnuti klizni prstenovi u krugu napajanja uzbude. Beskontaktna izvedba uzbude povećava pogonsku sigurnost generatora i pojednostavljuje održavanje. Izvedena je pomoću dodatnog malog sinkronog generatora koji se zove izmjenični uzbudnik. On se pogoni istom osovinom kao i veliki generator, a izveden je tako da se na rotoru velikog generatora nalazi armaturni namot u kojem se generira napon za uzbudu velikog generatora. Budući da je taj napon izmjeničan, potrebno ga je ispraviti pomoću ispravljača koji također rotira skupa s uzbudnikom. Za regulaciju napona brine

automatski regulator napona (eng. automatic voltage regulator AVR) koji upravlja navedenim izmjeničnim uzбудnikom. Na slici 25 prikazan je brodski agregat s dizelskim motorom i trofaznim sinkronim generatorom s naznakama na regulaciju frekvencije i napona.



Slika 25: Regulacija dizelskog generatora

3.3.3. Paralelan rad generatora

Brod uvijek ima dva ili više generatora pa je potrebno da generatori mogu skupa raditi i davati električnu energiju u brodsku električnu mrežu. U slučaju ispada jednog generatora, ostali generatori trebaju pokriti potrošnju koja osigurava sigurnu plovidbu. Kako je prethodno navedeno, uvijek se želi postići da dizelski motori koji pogone generatore rade pod optimalnim opterećenjem, odnosno da opterećenje ne bude dugotrajno ispod 50% nazivnog opterećenja. Ovisno o uključenim električnim trošilima na brodu, javlja se potreba za radom jednog ili više generatora kako bi se osigurala dovoljna količina električne energije. Da bi se to omogućilo potrebno, je da generatori mogu raditi u paralelnom radu.

Za paralelni rad generatora najosjetljiviji moment je upuštanje generatora u mrežu koja je pod naponom. Prije samog upuštanja potrebno je provesti sinkronizaciju generatora. Pod pojmom sinkronizacije podrazumijeva se usklađivanje napona generatora s naponom mreže tako da trebaju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

- isti redoslijed faza,
- jednaki naponi,
- jednake frekvencije,
- istofaznost napona.

Redoslijed faza generatora i mreže provjeren je prilikom puštanja sustava u prvi pogon i on se ne mijenja.

Za postizanje jednakog iznosa napona generatora i mreže, potrebno je izvršiti podešavanje napona generatora koje se izvodi regulacijom uzbudne struje koja prolazi rotorskim uzbudnim namotom. Tu radnju obavlja uređaj koji se zove automatski regulator napona, a što je prethodno objašnjeno.

Sljedeći uvjet je da frekvencije budu približno jednake. Ubrzavanjem pogonskog stroja povećava se i frekvencija generatora. Ako je pogonski stroj dizelski motor, ubrzavanje se postiže dodavanjem veće količine goriva. Tu funkciju obavlja regulator broja okretaja pogonskog stroja generatora.

Istofaznost napona je ključni moment kada se vrši ubacivanje generatora u mrežu. To je trenutak kada je napon generatora u fazi s naponom mreže. Da bi se ispunio ovaj uvjet, potrebno je da se generator blago ubrza kako bi frekvencija generatora bila malo veća od frekvencije mreže. U trenutku kada generator i mreža budu u fazi, vrši se ubacivanje generatora u mrežu. Bitno je da frekvencija generatora u tom trenutku bude malo veća kako bi generator odmah preuzeo malo opterećenje.

Ispunjenje navedenih uvjeta prati se mjerenjem napona i frekvencija te pomoću sinkronoskopa koji u pogodnom trenutku daje signal za uključivanje generatora u mrežu. Sinkronizacija se vrši automatski tako da, kad se ispune svi uvjeti sinkronizacije, automatika uključi generatorski prekidač i generator se uklopi u mrežu. Sinkronizacija se, u slučaju kvara automatike ili nekih specifičnih situacija, može raditi i ručno. Tada treba biti vrlo pažljiv jer se u slučaju nepravilnosti mogu pojaviti znatne naponske razlike i može doći do velikih struja izjednačenja. U tim slučajevima može doći do reagiranja električne zaštite i prekida električne energije, a u krajnjem slučaju i do oštećenja ili uništenja električne opreme.

Nakon što je više generatora u paralelnom radu, njihova frekvencija i napon određeni su frekvencijom i naponom mreže. Ako regulator broja okretaja pogonskog stroja jednog generatora dovede veću količinu goriva na pogonski stroj, on neće moći ubrzati jer je okretno magnetsko polje generatora uglavljeno u okretno magnetsko polje mreže, ali će preuzeti veće opterećenje, odnosno taj generator davat će veću djelatnu snagu u mrežu.

Sljedeća je bitna stavka kod paralelnog rada generatora raspodjela djelatne snage (kW). Kada se generator ubaci u mrežu, on u početku preuzima malo opterećenje. Potom ga je potrebno dovesti da preuzme ravnomjerno opterećenje kao i drugi generatori. Za to je odgovoran automatski regulator broja okretaja dizelskog motora. On će povećati gorivo na pogonski motor i time će generator davati veću snagu u mrežu. Istodobno će automatski regulatori broja okretaja drugih dizelskih generatora smanjiti gorivo i njihovi generatori davat će manju snagu u mrežu. Automatika koja upravlja cijelim sustavom držat će ravnomjerno opterećenje na svim generatorima koji su u paralelnom radu ako nije drugačije podešeno.

Osim djelatne snage, bitno je da se napravi i ravnomjerna raspodjela jalove snage (kVAR) između generatora koji su u paralelnom radu. Većina je potrošača induktivnog karaktera te uzima induktivnu jalovu snagu iz mreže, stoga je potrebno da postoji izvor koji će jalovu snagu davati u mrežu i time vršiti kompenzaciju. Ovisno o uzbudu, sinkroni generator može uzimati ili davati jalovu snagu u mrežu. Kod generatora regulaciju jalove snage vrši automatski regulator napona. Povećavanjem uzbudne struje ne može doći do povećanja napona jer je on sada određen naponom mreže pa će u tom slučaju tako naduzbuđen generator davati više jalove snage u mrežu. Iako je djelatna snaga ravnomjerno raspoređena, može

se dogoditi da je pojedini generator opterećeniji jer daje više jalove snage. To je vidljivo mjerenjem faktora snage i reaktivne snage u generatorskom polju GRP-a.

Problem koji se također može pojaviti pri paralelnom radu generatora je dođe li povratne snage, odnosno kada pojedini generator počne raditi kao motor. U tom slučaju on više ne daje djelatnu snagu u mrežu, već je uzima i dodatno opterećuje ostale generatore. To se događa kada iz određenih razloga dođe do smanjenja okretnog momenta ili potpunog isključivanja pogonskog stroja. Tada dolazi do reagiranja zaštite od povratne snage i izbacivanja generatora iz mreže.

3.4. Ugradnja i ispitivanje sustava za proizvodnju električne energije na brodu

Generatori su najvažniji električni strojevi na brodu i njihovoj ugradnji i samoj eksploataciji pridaje velika pažnja. Osim samih generatora, za njihov je rad presudan i ispravan: rad pomoćnih motora, funkcionalnost spojnih kabela i pripadajućih električnih uređaja u GRP-u. Ispravnost generatora nadzire se praćenjem parametara proizvedene električne energije te temperature namota i ležajeva. Također, bitan faktor za ispravan rad predstavlja i električna izolacija namota generatora.

Pomoćni motori imaju svoje službe, odnosno podsustave koji služe za njihovo napajanje gorivom, podmazivanje, rashladu, upućivanje u rad i sl. Pomoćni motori, kao i njihovi podsustavi, u normalnom pogonu funkcioniraju potpuno automatski uz pomoć relejne i PLC tehnike te druge elektronike. Osim velikih kvarova koji su rijetkost, problemi se najčešće događaju upravo na nivou automatike gdje dolazi do kvara pojedinih upravljačkih ili nadzornih elemenata te problema s ožičenjem.

Još jedna stavka kojoj se pridaje velika pažnja jest kvaliteta učvršćivanja i spajanja energetskih kabela generatora. Zbog velikih vibracija bitno je da ovi kabeli budu dobro učvršćeni i pravilno spojeni u generatoru. Vijčani spojevi trebaju biti pravilno stegnuti maticama koje imaju zaštitu od samoodvrtanja. Zatezanje se u pravilu izvodi ključevima koji imaju kontroliranu silu zatezanja propisanom silom kako bi se osigurao kvalitetan električni spoj, a izbjeglo oštećenje okolne izolacije.

3.4.1. Vježba 7 – Spajanje elemenata automatskog sustava

Zadatak

Postaviti i spojiti kabele potrebne za automatski rad rashladnog sustava pomoćnog motora.

Potrebna oprema

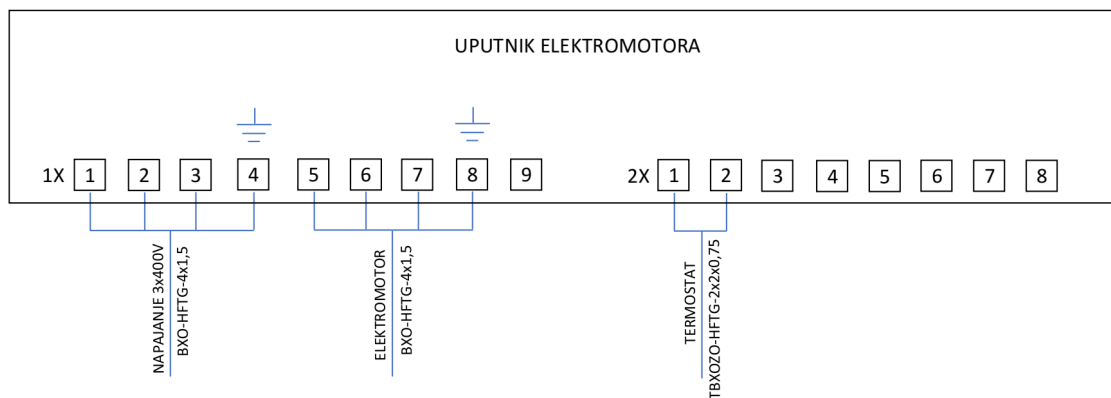
- kabela trasa
- kabele $4 \times 1,5 \text{ mm}^2$, $2 \times 2 \times 0,75 \text{ mm}^2$
- uputnik elektromotora
- asinkroni kavezni motor
- termostat
- električarski alat

Opis vježbe

Navedeni sustav predstavlja pojednostavljeni sustav za hlađenje rashladnika pomoćnog motora koji služi za pogon generatora. Sustav se sastoji od elektromotora koji pogoni rashladnu pumpu morske vode, uputnika koji upravlja sustavom te termostata.

U vježbi je potrebno na kabela trasu postaviti i učvrstiti kabel $4 \times 1,5 \text{ mm}^2$ za napajanje elektromotora te kabel $2 \times 2 \times 0,75 \text{ mm}^2$ koji čini vezu prema termostatu. Zatim kabele treba spojiti na odgovarajuće stezaljke i elemente prema priloženoj električnoj shemi (slika 26).

Prilog



Slika 26: Električna shema spajanja rashladnog sustava pomoćnog motora

3.4.2. Vježba 8 – Ispitivanje i puštanje u rad automatskog sustava

Zadatak

Ispitati i pustiti u rad rashladni sustav pomoćnog motora te utvrditi ispravnost automatskog rada.

Potrebna oprema

- trofazno napajanje 3x400 V
- prethodno pripremljen i spojen sustav
- električarski alat
- mjerni instrument multimetar
- grijač

Opis vježbe

U vježbi se simulira rashladni sustav pomoćnog motora na način da se izvrši automatsko uključivanje rashladne pumpe morske vode kada se rashladna voda zagrije iznad određene temperature te njeno isključivanje kada se temperatura smanji.

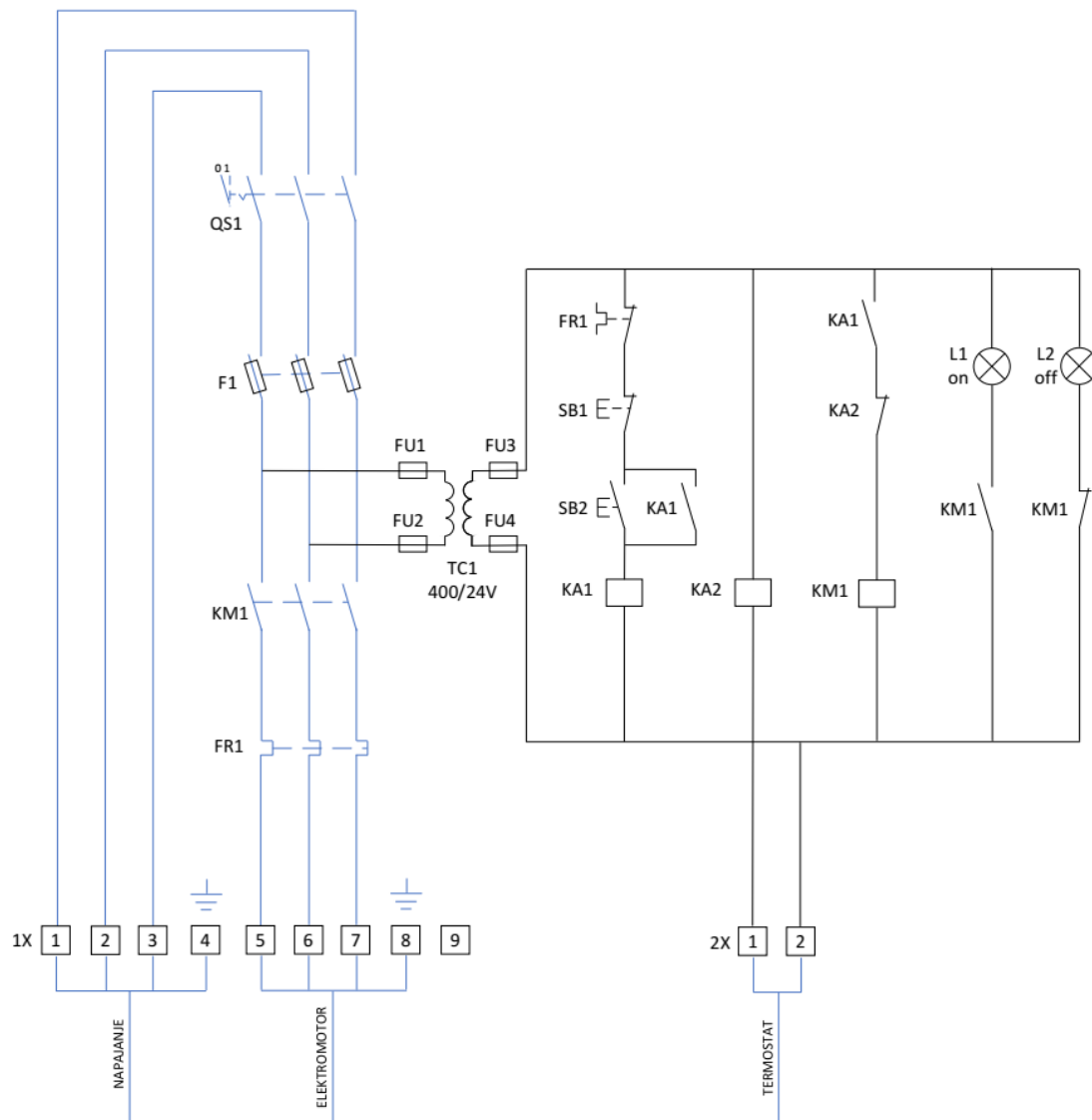
Potrebno je detaljno razmotriti priloženu električnu shemu na slici 27 i razumjeti način rada zadanog sustava, proučiti princip rada termostata te upravljačkog kruga elektromotora; ispitati ispravnost spajanja kabela te provjeriti izolaciju vodiča prema masi.

Nakon toga potrebno je uključiti napon i staviti sustav u pogon, zagrijavati termostat pomoću grijača te pratiti hoće li se motor uključiti. Kada se uključi, pričekati da se termostat ohladi i utvrditi hoće li se motor isključiti.

Napomena

Uključivanje napona i demonstraciju rada sustava smije izvoditi samo voditelj vježbi nakon što je prethodno ustanovio ispravnost i sigurnost električnog sustava.

Prilog



Slika 27: Električna shema djelovanja rashladnog sustava pomoćnog motora

3.4.3. Vježba 9 - Spajanje generatorskih kabela

Zadatak

Pripremiti i spojiti šest kabela većeg presjeka $2 \times 3 \times (1 \times 50 \text{ mm}^2)$ u spojnu kutiju generatora.

Potrebna oprema

- 6 kabela $1 \times 50 \text{ mm}^2$
- spojna kutija s uvodnicama i priključnim vijcima
- kliješta/preša za stopice i odgovarajuće stopice
- električarski alat

Opis vježbe

Šest jednožilnih kabela dimenzije $1 \times 50 \text{ mm}^2$ treba uvući u električnu kutiju koja predstavlja spojnu kutiju generatora te stegnuti glave uvodnica kako bi se kabeli dobro učvrstili jer su izloženi velikim vibracijama. U spojnoj kutiji kabele treba savinuti i oblikovati na način da nisu u dodiru s okolnim rubovima i unutrašnjim elementima. U protivnom bi tijekom eksploatacije generatora moglo doći do oštećenja izolacije kabela i spoja s masom ili čak kratkog spoja. Kabele treba savinuti u tolikoj mjeri da se osigura potrebna dužina kabela u slučaju zamjene faza, u slučaju skraćivanja kabela i stavljanja nove stopice. Također treba voditi računa da se kabeli formiraju tako da ima dovoljno mjesta za spajanje svih kabela te da se kutija može uredno zatvoriti pomoću poklopca.

Nakon formiranja kabela potrebno je skinuti izolaciju s vodiča u onoj mjeri koliko zahtjeva kabela stopica te postaviti i stegnuti stopice pomoću kliješta za prešanje. Zatim kabele treba označiti prema priključnim vijcima te spojiti na iste pomoću matice. Matice je nužno pravilno stegnute kako bi se osigurao dobar električni spoj. Pritezanje vijaka izvodi se odgovarajućim ključem uz čvrsto zatezanje pazeći da ne dođe do pucanja izolacije u kojoj su učvršćeni priključni vijci.

3.4.4. Vježba 10 – Generatorski prekidač

Zadatak

Proučiti tehničku dokumentaciju generatorskih prekidača, opisati njihov princip rada te izabrati odgovarajući prekidač.

Potrebna oprema

- papir
- pisaci pribor
- tehnička dokumentacija prekidača

Opis vježbe

Potrebno je detaljno proučiti tehničku dokumentaciju generatorskih prekidača. Zatim treba objasniti vrste prekidača, njihove nazivne podatke, način ugradnje i spajanja, električnu shemu, način rada, upravljačku zaštitnu jedinicu, električne zaštite i njihovo namještanje te načine upravljanja samim prekidačem.

Dalje je potrebno izabrati generatorski prekidač prema zadanim nazivnim podacima generatora, opisati namještanje električnih zaštita I_r , t_r , I_{sd} , t_{sd} , I_i , popuniti tablicu 3, nacrtati vremensko-strujnu karakteristiku te objasniti i nacrtati shemu daljinskog upravljanja prekidačem.

Prilog

Nazivni podaci trofaznog generatora:

$$S_n = 830 \text{ kVA}$$

$$\cos\Phi = 0,8$$

$$U = 440 \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$I_g = \frac{P_n}{\sqrt{3}U\cos\Phi}$$

$$I_r = 1,03 I_g; \quad t_r = 3 \text{ s}$$

$$I_{sd} = 3 I_g; \quad t_{sd} = 0,2 \text{ s}$$

$$I_i = 12 I_g$$

gdje je:

 S_n – nazivna prividna snaga generatora P_n – nazivna djelatna snaga generatora I_g – nazivna struja generatora I_r – struja kod zaštite od preopterećenja t_r – vrijeme kod zaštite od preopterećenja (spora zaštita) I_{sd} – struja kod zaštite od kratkog spoja t_{sd} – vrijeme kod zaštite od kratkog spoja (brza zaštita) I_i – struja kod trenutne zaštite I_n – nazivna struja odabranog generatorskog prekidača

Tablica 3: Podaci za namještanje zaštita na generatorskom prekidaču

Proizvođač	Tip	I_n [A]	$I_r = x I_n$	t_r [s]	$I_{sd} = x I_r$	t_{sd} [s]	$I_i = x I_n$



4

POGLAVLJE

ELEKTRIČNI POTROŠAČI NA BRODU

Nakon ovog poglavlja moći ćete:

- razlikovati brodske električne strojeve i uređaje
- objasniti upravljanje i automatiku brodskih sustava
- provoditi održavanje električnih sustava na plovilima
- spojiti i pustiti u rad električni sustav prema tehničkoj dokumentaciji
- utvrditi ispravnost i prema potrebi otkloniti kvar na električnom sustavu.

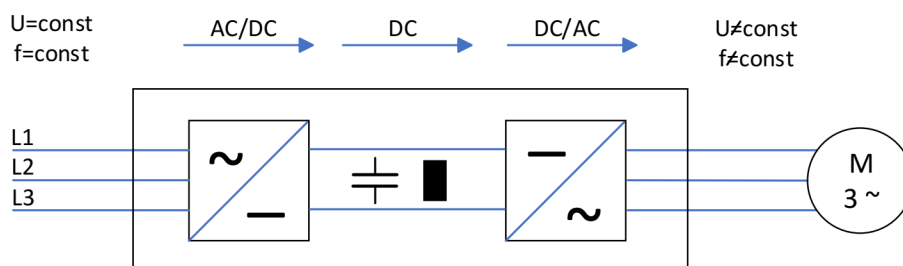
4.1. Elektromotorni pogoni brodskih sustava

Elektromotorni pogoni zastupljeni su kod velikog broja brodskih sustava. Sačinjava ih elektromotor kao pogonski stroj i radni stroj kao pogonjeni stroj. Osim navedenih osnovnih dijelova, elektromotorni pogoni imaju zaštitne i upravljačke uređaje. Upravljanje ovisi o potrebama samog pogona tako da može biti jednostavnije izvedbe gdje se odnosi samo na uključivanje i isključivanje pogona ili složenije izvedbe gdje se regulira brzina, moment, provodi automatski rad i sl.

Različiti radni strojevi imaju i različite momentne karakteristike. Na brodu se elektromotorima često pogone dizalice koje imaju momentnu karakteristiku u kojoj je moment konstantan, odnosno ne ovisi o brzini. Drugi, još zastupljeniji elektromotorni pogoni, imaju centrifugalnu momentnu karakteristiku tereta gdje je moment proporcionalan kvadratu brzine. Tu spadaju ventilatori, centrifugalne pumpe, propeleri i sl. Jedan je od najzahtjevnijih elektromotornih pogona brodska električna propulzija za brodove koji imaju takav tip pogona.

Momentne karakteristike tereta presudni su faktor u odabiru elektromotora. Također, pri odabiru treba još uzeti u obzir i režime rada elektromotora, vrstu opterećenja i zahtjev za regulaciju brzine. Upućivanje elektromotora u rad također je bitan faktor i ovisi o tipu i snazi motora te o mogućnostima same brodske električne mreže.

U novije vrijeme sve veća je potreba reguliranja brzine brodskih elektromotornih pogona. Za pogon brodskih strojeva koriste se uglavnom asinkroni motori te sinkroni motori koji su najčešće propulzijski. Reguliranje brzine vrtnje asinkronih i sinkronih motora olakšano je razvojem frekvencijskih pretvarača. Frekvencijski pretvarači sastoje se od ispravljača na mrežnoj strani gdje se izmjenični napon ispravlja u istosmjerni. Zatim slijedi istosmjerni međukrug koji je sastavljen od kondenzatora i zavojnice te na kraju na motorskoj strani izmjenjivač koji je izveden najčešće IGBT tranzistorima. Na izlazu frekvencijskog pretvarača generira se željeni napon i frekvencija pogodni za napajanje motora. Kako je brzina okretanja motora proporcionalna frekvenciji, upotrebom pretvarača moguće je vršiti kvalitetnu regulaciju brzine vrtnje motora. Frekvencijski pretvarač je pogodan također i za upuštanje motora u rad kada održava konstantnu struju bez velikih struja zaleta te za mogućnost kočenja motora kada motor prelazi u generatorski rad, a proizvedena energija se troši na otporniku. Na slici 28 prikazana je principijelna shema frekvencijskog pretvarača te spoj mreže na ulaznoj strani i trofaznog motora na njegovoj izlaznoj strani.



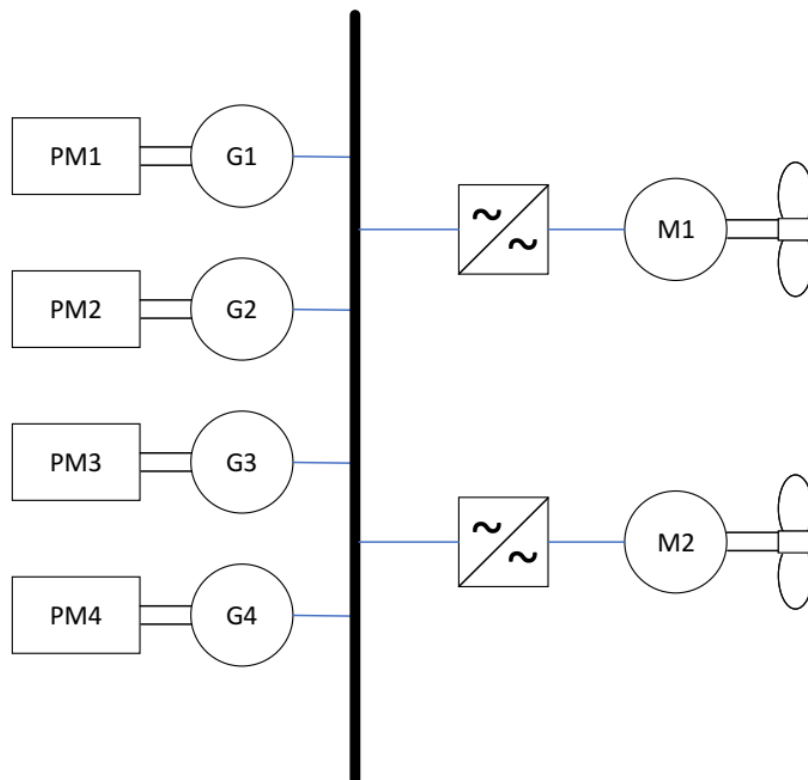
Slika 28: Principijelna shema frekvencijskog pretvarača

4.1.1. Električna propulzija

Da bi plovio, brod treba imati poriv, odnosno silu kojom će savladati otpor pri kretanju. Glavni pogonski stroj preko osovinskog voda pokreće brodski vijak koji stvara potreban poriv za pokretanje broda. Pogonski stroj, osovinski vod i brodski vijak zajedno čine brodsku propulziju. Propulzijski ili porivni stroj najčešće je dizelski motor koji koristi teško dizel gorivo.

U novije vrijeme sve češće se izvodi električna propulzija u kojoj se koristi električni porivni stroj. U tom slučaju elektromotor pokreće brodski vijak. Izvori električne energije za napajanje elektromotora su dizelski ili turbinski generatori za veće brodove, a za manje akumulatorske baterije s različitim izvedbama punjenja. U novije vrijeme se eksperimentira i s vodikovim gorivim ćelijama kao izvorom električne energije tako da je i to tehnologija koja se razvija.

Kako je potrebna velika električna snage za ovaj tip propulzije, posebno kod velikih brodova, za napajanje se koristi visoki napon. Ovisno o tipu vijka može biti potreba za regulacijom brzine vrtnje elektromotora. Ako je vijak s krutim krilima, regulacija poriva se postiže promjenom brzine vrtnje elektromotora. U slučaju vijka s zakretnim krilima, poriv se regulira promjenom kuta zakreta krila na vijku, a brzina vrtnje elektromotora je konstantna. Na slici 29 prikazan je primjer dizel-električne propulzije na brodu. Četiri dizelska generatora napajaju visokonaponsku rasklopnu ploču potrebnom električnom energijom za brodski pogon i ostale potrošače. Elektromotori koji se napajaju preko frekvencijskih pretvarača pokreću dva brodska vijaka.



Slika 29: Shematski prikaz brodske električne propulzije

Kod električne propulzije najčešće se upotrebljavaju sinkroni ili asinkroni motori. Njihova regulacija brzine vrtnje izvodi se pomoću frekvencijskih pretvarača koji generiraju električnu energiju potrebnih parametara pogodnu za napajanje navedenih propulzijskih motora. Kako frekvencijski pretvarači izobličuju napon brodske električne mreže, koriste se razna rješenja da bi se taj utjecaj smanjio. Jedno od rješenja je upotreba harmoničkih filtera.

Smještaj cijelog elektromotornog pogona električne propulzije najčešće je u strojarnici. Međutim u novije vrijeme javljaju se i drugačije izvedbe koje osiguravaju bolje manevarske sposobnosti broda. Jedno od navedenih rješenja su pod-propulzori smješteni ispod broda. Kod njih je elektromotor spojen direktno na brodski vijak te se mogu okretati oko svoje osi. Napajanje se dovodi kabelima iz strojarnice, a brzina vrtnje se regulira pomoću frekvencijskog pretvarača.

Brodovi koji su opremljeni osovinskim generatorima mogu imati mogućnost da te generatore koriste kao pomoćnu propulziju. Kod takve izvedbe osovinski generatori mogu raditi u generatorskom i motorskom režimu rada. Kada rade u motorskom režimu rada, osovinski vod se odvaja od glavnog porivnog stroja, a generatori služe kao pomoćna propulzija te samostalno pokreću brod.

4.1.2. Bočni propeler

Bočni propeler olakšava manevriranje broda i odnosi se uglavnom na pramčani bočni propeler. On je smješten na pramcu i pokreće brod u poprečnom smjeru. Također može postojati i krmni bočni propeler smješten na krmu broda. Rad bočnog propelera zahtjeva česta pokretanja i promjene smjera vrtnje. Kako je veliki električni potrošač, ponekad snage veće od 1MW, značajno opterećuje EES broda. Pri uključivanju bočnog propelera automatika prvo šalje zahtjev kojim se osigurava potrebna snaga u EES-u, a zatim se odobrava uključivanje na brodsku električnu mrežu. Promjene režima rada elektromotora bočnog propelera imaju velik utjecaj na EES pa se to pokušava smanjiti kroz različite izvedbe ovog pogona kao što su propeleri s zakretnim krilima ili pogon višebrzinskim asinkronim motorima.

U novije vrijeme za pogon bočnih propelera često se upotrebljava asinkroni motor napajan preko frekvencijskog pretvarača. Ta izvedba omogućuje pokretanje motora bez velikih struja zaleta, regulaciju brzine vrtnje, kočenje motora i brzu promjenu smjera okretanja.

4.1.3. Elektromotorni pogoni ostalih brodskih sustava

Elektromotorni pogoni se koriste kod velikog broja brodskih sustava. Jedan od bitnih sustava za sigurnost broda je kormilarski uređaj koji služi za pokretanje kormila, a nalazi se na krmnom dijelu broda. Kormilarski uređaj može biti izveden kao električni ili elektrohidraulički. Prva izvedba se koristi na manjim brodovima, i u tom slučaju elektromotor pokreće kormilo. Elektromotor radi u isprekidanom načinu rada pa se pojačano zagrijava. U drugoj izvedbi elektromotor pokreće hidrauličku pumpu, i radi u trajnom režimu rada.

Upravljanje kormilom se vrši ventilima koji upravljaju hidraulikom. Zbog sigurnosti koriste se elektromotori u duploj izvedbi s dvostrukim napajanjem, jednim s GRP-a i drugim s PRP-a. Na motorima je izvedena samo električna zaštita od kratkog spoja, preopterećenje se samo alarmira, ali se dopušta nastavak rada. Za pogon kormilarskih uređaja upotrebljavaju se asinkroni kavezni motori. Kormilom se upravlja s zapovjedničkog mosta, a alternativno upravljanje je iz prostora kormilarskog stroja.

Mnogi brodski sustavi koriste pumpe kao što su: rashladna pumpa, pumpa ulja glavnog stroja, pumpa balasta, protupožarna pumpa itd. Elektromotori koji pokreću pumpe su asinkroni kavezni motori. Ovi motori rade najčešće u trajnom režimu rada. Sličan način rada je i kod asinkronih motora koji pogone brodske ventilatore. Pumpe i ventilatori imaju mali moment tereta pri zaletu pa se ovi motori mogu upuštati u rad direktno ili u slučaju većih snaga pomoću uputnika zvijezda-trokut. Kod zvijezda-trokut metode zaleta motor se pokreće u spoju zvijezda, a nakon zaleta automatski se prespaja u trokut. Na ovaj način se izbjegavaju velike struje zaleta asinkronog motora. Također se pri upuštanju motora u rad upotrebljava i metoda meki start kada se napon postepeno povećava do nazivne vrijednosti, a samim tim se ograničava i struja zaleta. Sve je češća upotreba i frekvencijskih pretvarača kojima se također može kontrolirati struja zaleta elektromotora. Upravljanje pumpama i ventilatorima najčešće je izvedeno pomoću tipkala ili automatikom. U slučaju požara treba biti omogućeno da se svi ventilatori u ugroženom prostoru mogu isključiti ručno ili automatski.

Brodovi su u pravilu opremljeni priteznim, sidrenim i teretnim vitlima. Ona spadaju u palubne strojeve i rade za vrijeme manevra broda, utovara i istovara tereta. Brodska vitla mogu biti izvedena kao hidraulička kada asinkroni motor pogoni hidrauličku pumpu ili kao električna kada motor pogoni direktno vitlo. Kod električnog pogona vitala asinkroni motori rade u isprekidanom režimu rada te se pojačano zagrijavaju. Motori vitala se najčešće izvode kao višebrzinski ili se upravljaju preko frekvencijskog pretvarača. Elektromotorni pogoni vitala opremljeni su elektromagnetskom i mehaničkom kočnicom koje vrše zadržavanje pogona kada se motor isključi. Zbog opasnosti od preopterećenja ovi motori imaju ugrađenu termičku zaštitu na namotima te u nekim slučajevima mehaničku spojku koja se aktivira ako moment na osovini motora poraste iznad dopuštenog.

4.1.4. Zaštita i upravljanje elektromotora

Asinkroni motori napajaju se preko uputnika koji, osim napajanja i upravljanja, imaju funkciju i zaštite motora. Osnovne električne zaštite kojim se štite asinkroni motori su:

- zaštita od kratkog spoja,
- zaštita od preopterećenja,
- podnaponska zaštita,
- termička zaštita,
- zaštita od ispada jedne faze.

Zaštita od kratkog spoja djeluje pri pojavi struje kratkog spoja. U slučaju velike struje, koja je znatno veća od nazivne, ova zaštita reagira trenutno i vrši isključivanje motor.

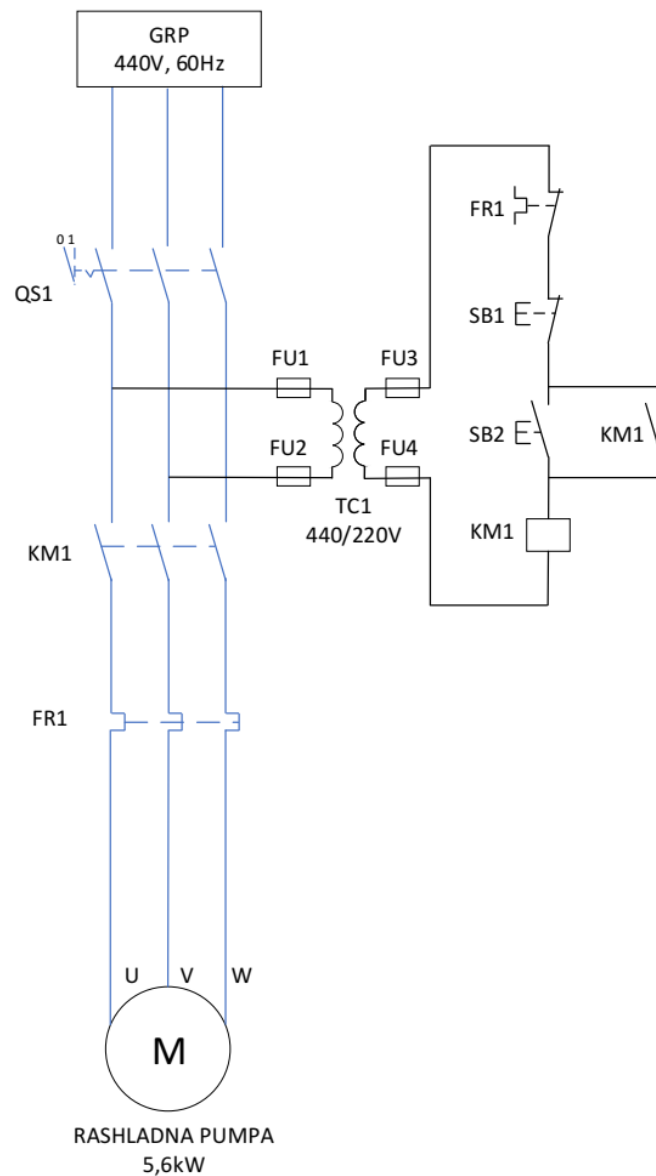
Zaštita od preopterećenja izvedena je pomoću bimetalne zaštite. Kada je motor neko vrijeme preopterećen, bimetal se zagrije i otvori kontakt koji se nalazi u upravljačkom krugu sklopnika te se prekida napajanje motora. Resetiranje može biti izvedeno automatski ili ručno.

Podnaponska zaštita reagira u slučaju niskog napona. Ako dođe do sniženog napona, podnaponski relej isključi prekidač i tako prekine napajanje motora.

Termička zaštita koristi se za elektromotore koji rade u isprekidanom režimu rada i kod kojih postoji mogućnost prevelikog zagrijavanja. Izvodi se pomoću termo-sonde koja je ugrađena u sam elektromotor i mjeri zagrijavanje motora.

Zaštita od ispada jedne faze koristi se kada postoji mogućnost rada motora i nakon gubitka jedne faze. Ova zaštita reagira uslijed ispada jedne faze te isključuje kompletno napajanje motora.

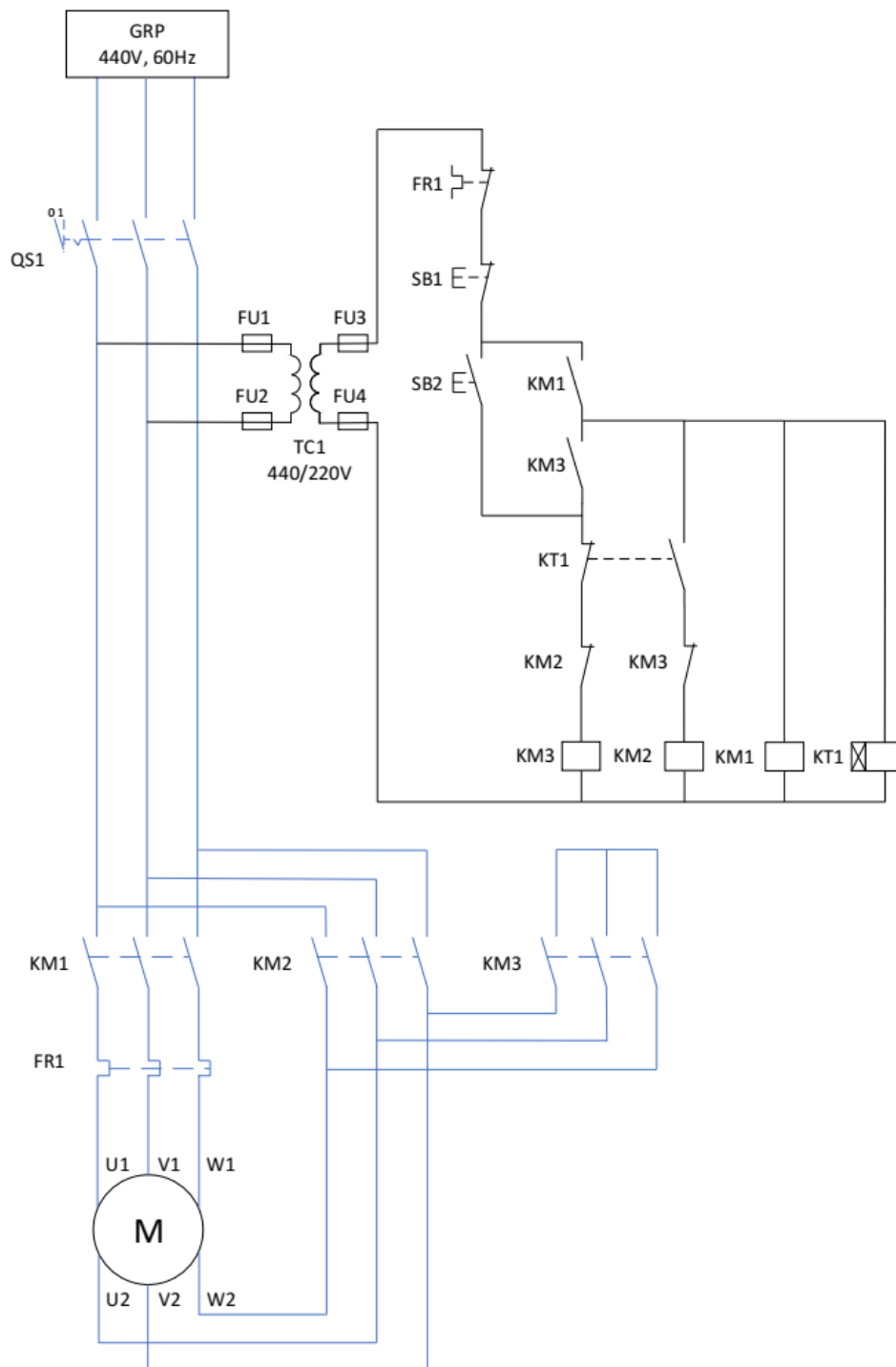
Upravljanje elektromotorom može biti izvedeno na nekoliko načina. Na uputniku se nalaze tipkala kojima se vrši lokalno upravljanje. Daljinsko upravljanje može biti izvedeno s nekog udaljenog mjesta koje je pogodno za upravljanje cijelim elektromotornim pogonom. Također, ovisno o namjeni pogona i stupnja automatizacije, upravljanje može biti i automatsko. Slika 30 prikazuje uputnik elektromotora koji pokreće rashladnu pumpu. Uputnik se napaja iz GRP-a naponom 440V, 60Hz gdje je ujedno upotrebom prekidača izvedena zaštita od kratkog spoja. Sklopka QS1 služi za ručno isključivanje napona. Napon se dalje vodi do sklopnika KM1 koji upravlja s elektromotorom. U nastavku se nalazi bimetalni zaštitni relej FR1. On se u principu spaja na sklopnik i štiti elektromotor od preopterećenja. U slučaju njegove aktivacije pomoćni kontakt FR1 se otvori i prekine upravljački krug kojim se napaja svitak sklopnika KM1 te se, posljedično, isključi sklopnik, a samim time i elektromotor. Ostali dio upravljačkog kruga funkcionira na način opisan u prethodnim poglavljima.



Slika 30: Uputnik elektromotora rashladne pumpe

Ovisno o snazi elektromotora, momentu tereta, potrebama elektromotornog pogona te mogućnostima brodske električne mreže, asinkroni motori mogu se upućivati u rad pomoću različitih metoda. Prethodno opisani način upuća elektromotor u rad spajajući ga direktno na mrežu. U tom slučaju struja zaleta asinkronog motora može biti i do sedam puta veće od nazivne struje. Na slici 31 prikazana je metoda upućivanja motora u rad automatskim prebacivanjem iz zvijezde u trokut spoj. Kod ove izvedbe potrebno je kabelom spojiti svih šest stezaljki motora, s tim da se u motoru ne izvodi spoj namota. Druga strana kabela spaja se u uputnik, a spoj namota motora ostvaruje se preko sklopnika. Sklopnik KM1 dovodi napon na stezaljke motora U1, V1 i W1. Sklopnik KM2 spaja se na drugu stranu namota motora U2, V2 i W2 na način da se na svaki namot dovodi linijski napon i u tom slučaju motor je spojen u trokut. Sklopnik KM3 također se spaja na stranu U2, V2 i W2, ali

on svojim uključivanjem spaja motor u zvijezdu. Upravljački dio početno aktivira sklopnike KM1 i KM3 čime motor počinje s radom u zvijezda spoju. Istovremeno se uključuje i vremenski relej KT1 koji nakon podešenog vremena prebaci svoje kontakte. U tom se trenu sklopnik KM3 isključi, a uključi se sklopnik KM2 te motor nastavlja s radom u trokut spoju. Pomoćni kontakti KM2 i KM3 koji se nalaze iznad svitaka sklopnika KM3 i KM2 služe kao dodatna zaštita od istovremenog uključivanja navedenih sklopnika.



Slika 31: Upuštanje motora u rad metodom zvijezda-trokut

4.2. Električna rasvjeta na brodu

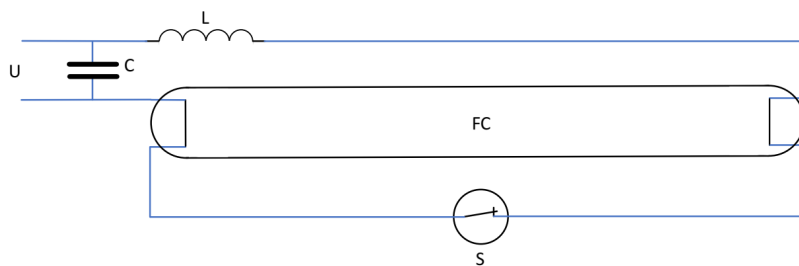
Električna rasvjeta na brodu vrlo je bitan brodski sustav i postavljena je u sve prostore i prolaze gdje se mogu naći putnici i posada. Ona ne služi samo za rasvjetu brodskih prostora noću, nego u većini slučajeva i danju. Kako je većina prostorija na brodu loše osvijetljena dnevnim svjetlom, a dobar dio njih nije uopće, potrebno je da rasvjeta bude uključena cijelo vrijeme. Razina osvijetljenosti zadana je propisima i ovisi o namjeni brodskih prostora pa uglavnom iznosi 50-100 lx, a za neka mjesta upravljanja i za radne površine 100-200 lx.

Pri postavljanju rasvjete vodi se računa da svi dijelovi broda budu pravilno osvijetljeni. Posebno je zahtjevan raspored rasvjetnih tijela u strojarnici zbog mnogih zasjenjenih dijelova. Osim rasvjete unutrašnjih prostora, koristi se i vanjska rasvjeta koja služi za rasvjetu palube te reflektori koji se koriste za traženje i navigaciju. U električnu rasvjetu broda spadaju i signalno-navigacijska svjetla koja su nužna za noćnu plovidbu te dekorativna rasvjeta koju najčešće imaju putnički brodovi.

Na brodu uglavnom postoje tri neovisne mreže rasvjete koje su međusobno isprepletene. Prva je glavna rasvjeta koja ima najveći broj rasvjetnih tijela. Napaja se preko razdjelnika rasvjete s glavne rasklopne ploče naponom koji je najčešće 220V. Sljedeća mreža rasvjete je pomoćna rasvjeta, odnosno rasvjeta za nužnost. Ona obično ima 1/3 rasvjetnih tijela u odnosu na glavnu rasvjetu. Napaja se s pomoćne rasklopne ploče i svrha joj je osigurati dovoljnu rasvijetljenost u slučaju ispada glavne rasvjete. Napon ove mreže također je 220V. Treća mreža odnosi se na rasvjetu u opasnosti i ona se napaja iz akumulatorskih baterija. Postavljena je samo na bitnim prolazima i izlazima te ima najmanje rasvjetnih tijela.

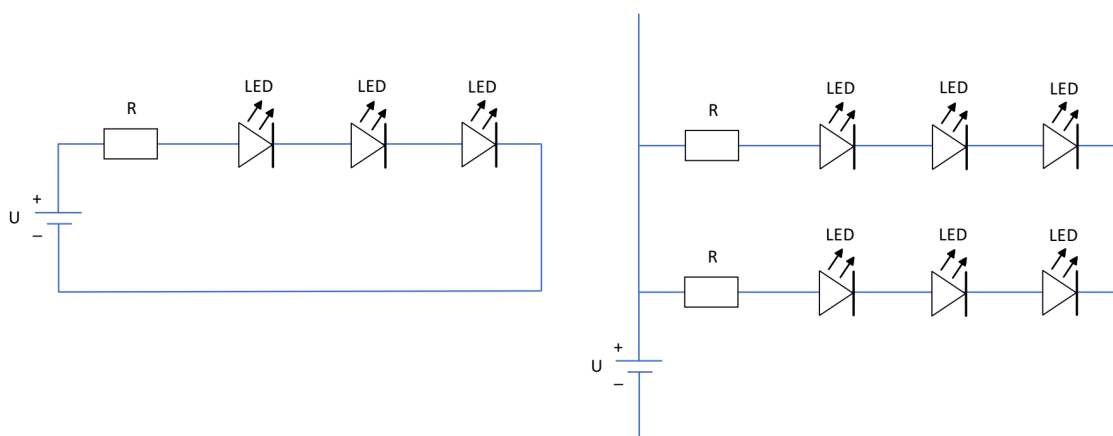
Na brodu se koriste različiti izvori svjetlosti kao što su žarulje, fluorescentne cijevi i LED rasvjeta. Najčešće se upotrebljavaju brodske svjetiljke s fluorescentnim cijevima. Ovi izvori svjetlosti imaju veći stupanj korisnosti i dulji radni vijek od žarulja, a jeftiniji su od LED rasvjete.

Princip rada fluorescentnih svjetiljki zasniva se na pojavi emitiranja elektromagnetskog zračenja koje se javlja pri prolazu struje kroz razrijeđeni plin ili paru. U fluorescentnim cijevima najčešće se nalazi živina para. Cijevi su s unutarnje strane premazane fluorescentnim premazom o kojem ovisi valna duljina vidljive svjetlosti. Ova vrsta brodskih svjetiljki najčešće se sastoji od dvije fluorescentne cijevi, startera, prigušnice i kondenzatora. Prilikom uključivanja svjetiljke, starter prespoji elektrode i struja poteče kroz grijače na elektrodama. Nakon što se grijači zagriju, starter prekine strujni krug, a magnetska energija koja je zaostala na prigušnici inducira veliki napon te dolazi do provođenja struje kroz cijev. Fluorescentna svjetiljka zbog prigušnice predstavlja veliki induktivni teret pa je u nju ugrađen kondenzator pomoću kojeg se izvodi kompenzacija. Na slici 32 prikazan je princip rada fluorescentna svjetiljke gdje je takva cijev spojena na napajanje preko prigušnice L i kondenzatora C te spoj startera S kojim se elektrode cijevi početno premoste.



Slika 32: Princip rada fluorescentne svjetiljke

Kako je električna rasvjeta na brodu znatan potrošač, posebno na malim plovilima koja koriste akumulatorske baterije kao jedini izvor električne energije, sve se više se koristi LED rasvjeta koju odlikuje mala potrošnja električne energije i velika dugotrajnost, iako je skuplja u odnosu na klasičnu rasvjetu. Osim osnovne primjene, ova rasvjeta ima bitnu ulogu i u dekoraciji brodskih interijera i eksterijera, posebno kod turističkih brodova. LED rasvjetna tijela sastoje se od LE dioda (eng. light emitting diode) koje pretvaraju električnu energiju u svjetlost. One su povezane u nizove kako bi se mogle priključiti na istosmjerni izvor, najčešće napona 12 ili 24 V. Također postoji izvedba kod koje se LED rasvjeta spaja na izmjenični napon 220 V preko pretvarača koji osigurava izlaz 12 ili 24 V DC, a koji može biti odvojen ili ugrađen u samo rasvjetno tijelo. Potrebna rasvjetna tijela mogu se dobiti spajanjem odgovarajućeg broja nizova LE dioda s tim da se vodi računa o snazi pretvarača preko kojih se napajaju. Na slici 33 prikazan je primjer spajanja te više paralelnih nizova LE dioda na izvor 12V DC uz postavljanje predotpora za ograničavanje struje.



Slika 33: Spoj LE dioda na izvor

4.3. Ostali električni potrošači na brodu

Na brodu mogu postojati različita trošila, od kojih je bitno izdvojiti trošila s električnim grijačima te punjače baterija koji imaju posebnu važnost za održavanje istosmjerne mreže.

4.3.1. Trošila s električnim grijačima

Na brodu postoje trošila s električnim grijačima koja električnu energiju pretvaraju u toplinsku. U tu svrhu najčešće se upotrebljavaju spirale smještene u posebne cijevi. Ova trošila trebaju imati zaštitu od pregrijavanja te uređaj za reguliranje temperature. Mogu se naći u sklopu gospodarskih uređaja kao što su: električni štednjaci, različite peći za pripremu hrane, električni bojleri, strojevi za pranje posuđa, strojevi za pranje rublja, sušilice rublja, glačala i sl. Na brodu postoje različite izvedbe grijanja brodskih prostora, a u nekim slučajevima pojedini se prostori mogu grijati i pomoću električnih grijača.

Njihova je sljedeća primjena u obliku različitih grijača za potrebe brodskih sustava gdje mogu vršiti predgrijavanje različitih fluida kao što je voda, gorivo, ulje te predgrijavanje brodskih strojeva i uređaja. Električni grijači na brodu u principu su veliki potrošači električne energije, a njihova instalirana snaga ovisi o kapacitetu gospodarskih uređaja, izvedbi brodskog grijanja, veličini brodskih sustava, odnosno o veličini i namjeni broda.

4.3.2. Akumulatorske baterije

Akumulatorske baterije istovremeno su izvori i potrošači električne energije. Na brodu se koriste za akumuliranje električne energije i napajanje istosmjernih potrošača. Istosmjerna električna mreža objašnjena je u prethodnim poglavljima, a ovdje će se akumulatorske baterije razmotriti s aspekta potrošača i održavanja.

Akumulatorske baterije na brodu su najčešće smještene u akumulatorskoj stanici. Također, postoje baterije koje su smještene u odgovarajuće kutije, npr. u prostoru pomoćnog generatora gdje služe za pokretanje generatora ili u prostoru strojarnice. Prostori gdje se nalaze baterije trebaju biti dobro ventilirani zbog mogućnosti pojave eksplozivnih plinova.

Na brodovima se najčešće upotrebljavaju olovne i alkalijske akumulatorske baterije. Olovne baterije imaju pozitivnu elektrodu od olovnog dioksida (PbO_2) i negativnu od olova (Pb). Elektrolit je sumporna kiselina (H_2SO_4) razrijeđena destiliranom vodom (H_2O). Pražnjenjem baterije elektrolit se razrjeđuje, a na elektrodama se stvara olovni sulfat (PbSO_4). Kod punjenja baterije proces je suprotan. Na osnovi gustoće elektrolita može se odrediti stanje napunjenosti baterije. Osim olovnih baterija s tekućim elektrolitom, sve češće se upotrebljavaju AGM baterije s elektrolitom natopljenim u posebni materijal koji se nalazi između elektroda te gel baterije u kojima je elektrolit u obliku gela. Ove baterije ne zahtijevaju održavanje, dok je kod baterija s tekućim elektrolitom potrebna provjera nivoa elektrolita

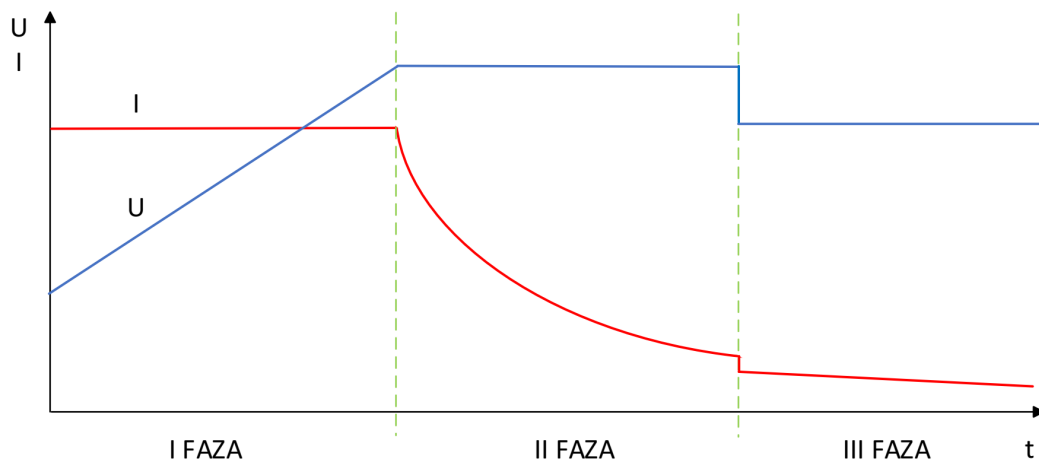
i dolijevanje destilirane vode po potrebi. Ovisno o nazivnom naponu, baterije se sastoje od određenog broja članaka spojenih u seriju. Nazivni napon jednog članka olovne baterije je 2 V, najniži napon pražnjenja oko 1,7 V, a najviši napon punjenja 2,4 V, što može varirati ovisno o tipu baterije te uvjetima punjenja i pražnjenja.

Alkalijske nikal-kadmij (NiCd) baterije kao elektrolit koriste vodenu otopinu kalijeve lužine (KOH), na pozitivnom polu je nikal III hidroksid (Ni(OH)_3), a na negativnom kadmij (Cd). Pri pražnjenju alkalijske baterije gustoća elektrolita raste, a pri punjenju pada te se stvara voda, za razliku od ranije navedenih olovnih baterija gdje je proces suprotan. Kod ovih baterija nazivni napon članka je 1,2 V, najniži napon pražnjenja oko 1,1 V, a napon punjenja oko 1,6 V, što opet ovisi o tipu baterije te uvjetima punjenja i pražnjenja. Alkalijske baterije otpornije su na velike struje i opterećenja od olovnih baterija te dobro podnose niske temperature i imaju dulji životni vijek.

U novije se vrijeme sve više koriste litij-ionske baterije, pogotovo u slučajevima kad masa baterija igra značajnu ulogu, budući da je litij veoma lagan metal. Kod ovih baterija pozitivnu elektrodu čini litijev metalni oksid, a negativnu ugljik. Tijekom pražnjenja ioni litija kreću se kroz elektrolit od negativne elektrode prema pozitivnoj. U slučaju punjenja proces je suprotan. Postoji više tipova litij-ionskih baterija, a razlikuju se po materijalu od kojeg je izrađena njihova pozitivna elektroda. Jedna od češće korištenih litij-ionskih baterija je ona s katodom od litij-željezo-fosfata (LiFePO_4). Napon ćelije ovog tipa baterije je 3,6 V, minimalni napon 2,5 V, a maksimalni 4,2 V tako da spajanjem četiri ćelije u seriju dobivamo bateriju nazivnog napona 12,8 V. Ako napon pri pražnjenju padne ispod minimalnog, doći će do uništenja ćelije, a ako pri punjenju napon bude viši od dozvoljenog, može doći i do eksplozije. Stoga je kod ovog tipa baterija bitno nadzirati napone na svim ćelijama tijekom pražnjenja te posebno tijekom punjenja gdje je poželjno mjeriti i temperaturu svake ćelije koja ne smije premašiti vrijednost od 50 °C. Ove baterije uglavnom su opremljene uređajem za ujednačavanje stanja ćelija, a u boljoj izvedbi i uređajem za dojavu napona i temperature svake ćelije sustavu za nadzor stanja baterija (BMS). Osim nedostataka kao što su: osjetljivost na prepunjavanje i pretjerano pražnjenje, povećana opasnost od eksplozije i požara te cijena, navedene baterije imaju i čitav niz prednosti. Prednosti ovih baterija su: velika gustoća energije u odnosu na masu, veliki nazivni napon ćelije, veća dubina pražnjenja, dug životni vijek i veliki broj radnih ciklusa. Upotreba litij-ionskih baterija dolazi posebno do izražaja na manjim plovilima gdje predstavljaju jedini izvor električne energije, a s obzirom da je ova tehnologija još u razvoju, samo je pitanje vremena kada će se početi značajnije upotrebljavati i na velikim brodovima, posebno u kombinaciji s još nekim naprednim tehnologijama vezanim uz punjenje i proizvodnju električne energije, kao npr. solarnim punjenjem.

Da bi akumulatorske baterije mogle obnašati svoju zadaću, potrebno je vršiti njihovo redovito punjenje. Za to se koriste punjači koji spuštaju i ispravljaju izmjenični napon 220V na odgovarajući iznos pogodan za punjenje baterija. Klasični ispravljači na svom su izlazu imali konstantan napon cijelo vrijeme, što je u početnoj fazi punjenja uzrokovalo veliku struju punjenja, a u završnoj fazi dugotrajno punjenje. Kako prevelika struja punjenja uzro-

kuje povećano stvaranje plinova, zagrijavanje baterije te samim time i smanjenje životnog vijeka baterije, osmišljeni su punjači koji reguliraju napon i struju tijekom punjenja. Za to se koriste statički pretvarači kod kojih se mogu namjestiti parametri punjenja ovisno o tipu baterije. Ti punjači priključeni su cijelo vrijeme na baterije i na taj način ih održavaju uvijek potpuno napunjenima. Na slici 34 prikazane su faze punjenja kod jednog takvog punjača gdje je vidljivo da u prvoj fazi napon postepeno raste, a struja punjenja održava se na preporučenoj maksimalnoj vrijednosti. Druga faza počinje kada napon dosegne maksimalnu preporučenu vrijednost, a struja počinje opadati. Treća faza odnosi se na završno nadopunjavanje baterije, pri čemu se napon smanji, a samim time i struja. Na ovaj se način postiže kvalitetno punjenje pri kojem struja punjenja ne prelazi preporučenu vrijednost, a vrijeme punjenja znatno se smanjuje.



Slika 34: Prikaz faza punjenja baterije

Održavanje baterija nije zahtjevan posao i odnosi se u najvećoj mjeri na provjeru razine elektrolita i dolijevanje destilirane vode po potrebi (za tip baterija koje to zahtijevaju) te na sprječavanje oksidacije električnih kontakata na baterijama. Također je bitno praćenje napona te struja punjenja i pražnjenja baterija iz kojih se može odrediti njihovo stanje.

4.4. Ugradnja i ispitivanje sustava električnih potrošača na brodu

Asinkroni motori predstavljaju najčešće pogonske strojeve elektromotornih pogona na brodu. To su pouzdani strojevi koji ne zahtijevaju znatnije održavanje. Praćenjem električnih veličina te temperatura pri radu samih motora može se pouzdano odrediti njihovo stanje. Pojačano zagrijavanje može se pojaviti u slučaju preopterećenja za što je odgovorna premala snaga motora ili nepravilnost kod radnog stroja koji motor pokreće; zbog nepravilnog režima rada pri kojem dolazi do većeg broja zaleta motora u kratkom vremenu; zbog problema u napajanju te zbog kvara na elektromotoru koji može biti električne ili mehaničke prirode kao što su, na primjer, promjene na izolaciji ili problem s ležajima. Ponekad se nepravilnosti rada asinkronih motora mogu uočiti i kroz vibracije i zvukove koji odstupaju od normalnog radnog stanja.

Kod električnih problema potrebno je izvršiti mjerenje otpora namota sve tri faze te ih usporediti i utvrditi ima li većih odstupanja. Također treba izmjeriti otpor izolacije namota između pojedinih faza te prema masi motora. Vrijednost otpora izolacije kod manjih asinkronih motora ne bi trebala biti manja od 1 M Ω , a ako je na graničnoj vrijednosti, potrebno je izvršiti sušenje izolacije te nakon toga provjeriti je li se stanje popravilo.

Zastoji asinkronih motora događaju se često zbog kvara u uputniku elektromotora pa je potrebno provjeriti ispravno funkcioniranje zaštitnih elementa te ispitati upravljačke i nadzorne krugove. Kvarovi se najčešće odnose na prekide električnih veza zbog lošeg spoja u stezaljkama ili zbog kvara upravljačkih elemenata kao što su sklopnici i releji.

Automatsko upravljanje elektromotornih pogona često je izvedeno pomoću PLC-a. U tom slučaju relejno upravljanje najčešće je nadograđeno spajanjem linija u kojima se nalaze ulazi i izlazi PLC-a. Osnovno upravljanje pomoću PLC-a funkcionira istom logikom kao i relejna – umjesto određenih releja postavljaju se digitalni ulazi i izlazi PLC-a koji se upravljaju prethodno definiranim programom. Kod ovog načina upravljanja mogu se pojaviti problemi vezani za napajanje PLC-a, zbog prekida i loših spojeva ožičenja prema njegovim ulazima i izlazima te u krajnjem slučaju zbog neispravnosti rada samog PLC-a.

4.4.1. Vježba 11 – Izgradnja uputnika elektromotora

Zadatak

U uputnik elektromotora ugraditi i ožičiti elemente za zaštitu i upravljanje pripadajućeg elektromotora.

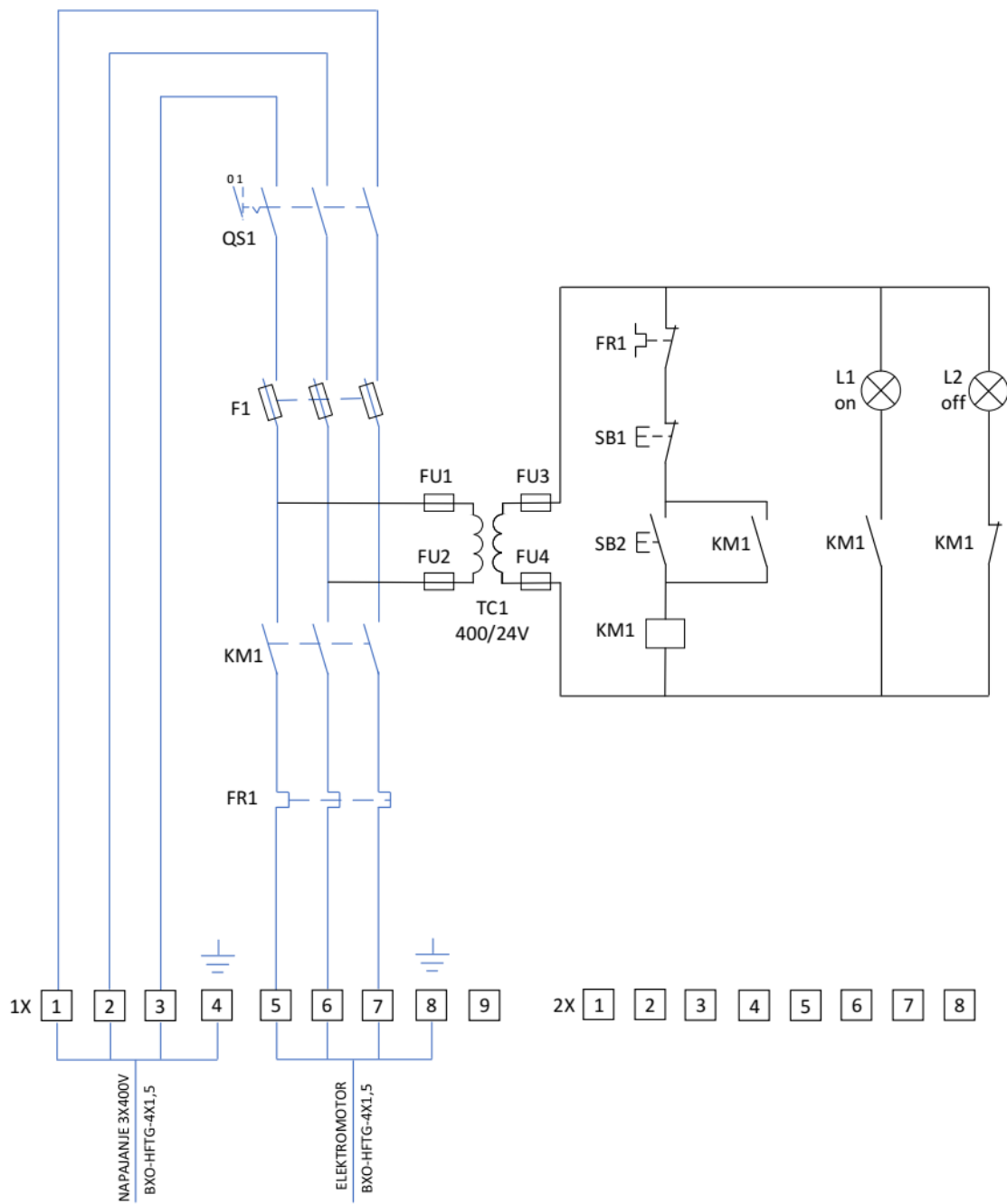
Potrebna oprema

- električni ormar
- uvodnice
- redne stezaljke
- transformator upravljačkog napona
- osigurači
- sklopnik
- trolni automatski osigurač
- bimetalna zaštita
- sklopka
- tipkala s lampicama
- električni vodiči
- električarski alat

Opis vježbe

U pripremljeni električni ormar potrebno je ugraditi uvodnice, redne stezaljke, osigurače, transformator upravljačkog napona, automatski osigurač, sklopnik, bimetalnu zaštitu, sklopku i tipkala s lampicama (on i off) na odgovarajuća mjesta. Zatim treba izvršiti ožičenje navedenih elemenata prema priloženoj električnoj shemi (slika 35). Sve elemente i električne spojeve potrebno je označiti pripadajućim oznakama u skladu s navedenom shemom. Nakon što su svi električni spojevi pravilno i čvrsto izvedeni, vodiče treba postaviti u kanalice te po potrebi povezati plastičnim vezicama.

Prilog



Slika 35: Električna shema uputnika elektromotora

4.4.2. Vježba 12 – Ispitivanje i puštanje u rad elektromotora

Zadatak

Ispitati elektromotor i njegov pripadajući uputnik, ispravnost spajanja kabela te sustav pustiti u pogon.

Potrebna oprema

- trofazno napajanje 3x400 V
- kompletiran uputnik
- asinkroni motor
- kabel 4x1,5 mm²
- električarski alat
- mjerač otpora izolacije
- strujna kliješta
- mjerni instrument multimeter

Opis vježbe

Potrebno je ispitati elektromotor mjerenjem otpora sva tri namota pomoću multimetra, te otpora izolacije namota sve tri faze međusobno i prema masi pomoću mjerača otpora izolacije. Zatim treba ispitati ispravnost ožičenja elemenata u prethodno kompletiranom uputniku provjerom neprekinutosti veza između pojedinih električnih točaka. Nakon što je utvrđeno ispravno stanje elektromotora i uputnika, potrebno je spojiti napojni kabel prema elektromotoru te ispitati ispravnost spajanja.

Zatim treba pustiti napon na uputnik i pokrenuti elektromotor. Demonstrirati upravljanje motorom pomoću tipkala, pokazati indikacije rada motora preko lampica on i off, izmjeriti napon i struju, a zatim testirati ispravnost električnih zaštita. Za izvođenje vježbe koristiti električnu shemu koja je prikazana na slici 35.

Napomena

Uključivanje napona i demonstraciju rada sustava smije izvoditi samo voditelj vježbi nakon što je prethodno ustanovio ispravnost i sigurnost električnog sustava.

4.4.3. Vježba 13 – Otklanjanje kvara u uputniku

Zadatak

Detektirati i otkloniti kvar u uputniku elektromotora.

Potrebna oprema

- trofazno napajanje 3x400 V
- kompletirani uputnik s elektromotorom
- električarski alat
- mjerni instrument multimeter

Opis vježbe

U uputniku elektromotora prethodno je simuliran kvar tako da je na nekom mjestu napravljen prekid električnog spoja, npr. električni vodič je izoliran i tako postavljen u stezaljku. Kvar ne smije imati utjecaja na sigurnost električnog sustava. Nadalje je potrebno pokušati pokrenuti elektromotor. Nakon što se ustanovi kvar, **nužno je isključiti napajanje te provjeriti i osigurati beznaponsko stanje.**

Nakon utvrđivanja beznaponskog stanja treba početi s detekcijom kvara. Kod ispitivanja je potrebno prvo provjeriti da nije reagirala električna zaštita te prekinula napajanje. Pretpostavka je da napajanje dolazi do ulaznih stezaljki pa dalje treba ispitivati od njih prema ostalim elementima – pomoću multimetra mjeriti otpor između spojnih točaka pojedinih elemenata te utvrditi neprekinutost električnih veza. Pritom se treba koristiti električnom shemom uputnika koja je prikazana na slici 35.

Ovisno o situaciji, ponekad se mjesto kvara može odrediti mjerenjem dok je sustav pod naponom, ali za ovaj način detekcije kvara potrebno je određeno znanje i iskustvo te ga ne smiju izvoditi osobe koje nisu za to obučene. Neke nepravilnosti mogu se utvrditi i vizualnim putem. Kada se kvar pronađe, najčešće je potrebno popraviti električni kontakt ili zamijeniti određeni element u uputniku. Zatim treba ispitati ispravnost izvedbe popravka te demonstrirati ispravan rad sustava.

Napomena

Uključivanje napona i demonstraciju rada sustava smije izvoditi samo voditelj vježbi nakon što je prethodno ustanovio ispravnost i sigurnost električnog sustava.

4.4.4. Vježba 14 - Brodske svjetiljke

Zadatak

Proučiti brodsku fluorescentnu svjetiljku i izraditi njenu električnu shemu, a zatim spojiti dvije svjetiljke na napajanje i izmjeriti osvjetljenost.

Potrebna oprema

- papir
- pisaći pribor
- jednofazno napajanje 230 V
- 2 brodske svjetiljke
- kabeli 3x1,5 mm²
- kabelska trasa
- električarski alat
- uređaj za mjerenje osvjetljenosti

Opis vježbe

Treba rastaviti brodsku fluorescentnu svjetiljku i proučiti elemente koje sadrži. Zatim je potrebno popratiti ožičenje između pojedinih elemenata i nacrtati električnu shemu svjetiljke.

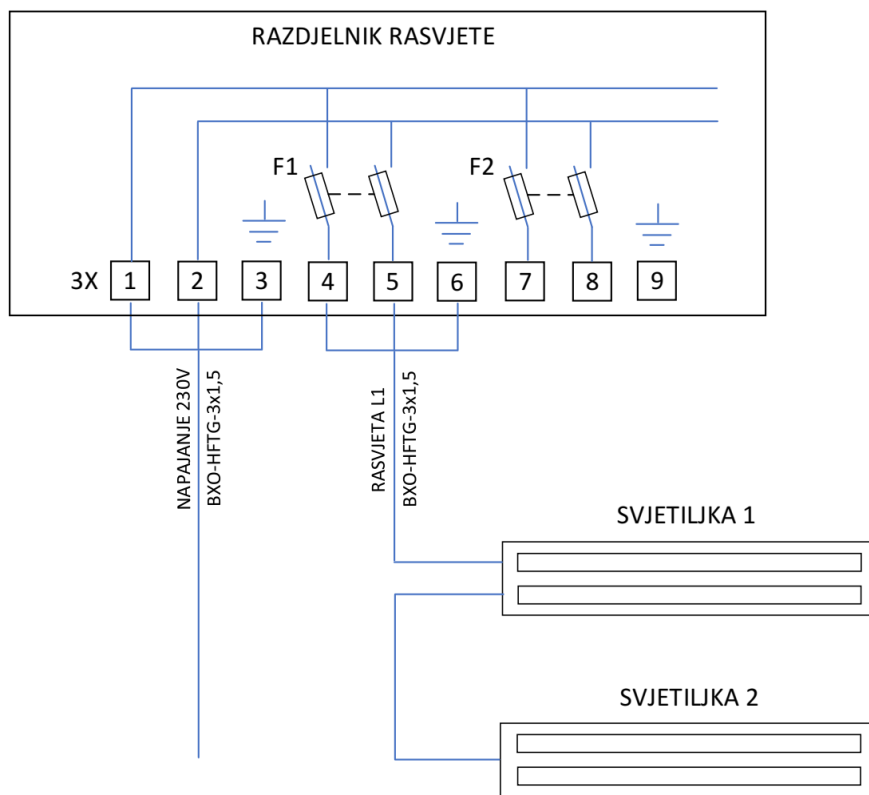
Potom treba kompletirati dvije svjetiljke s pripadajućim fluorescentnim cijevima i starterima te ih postaviti na pripremljeno mjesto. Dalje je potrebno postaviti kabele i spojiti ih u razdjelnik rasvjete i u svjetiljke prema priloženoj shemi na slici 36.

Potrebno je ispitati ispravnost spojenih kabela te uključiti napon prema razdjelniku te dignuti rasvjetni krug preko automatskog osigurača F1. Zatim izmjeriti osvjetljenje na različitim udaljenostima od svjetiljki.

Napomena

Uključivanje napona i demonstraciju rada sustava smije izvoditi samo voditelj vježbi nakon što je prethodno ustanovio ispravnost i sigurnost električnog sustava.

Prilog



Slika 36: Električna shema spajanja brodskih svjetiljki

4.4.5. Vježba 15 – Brodski požarni alarm

Zadatak

Izvesti i pustiti u rad brodski požarni alarm s bljeskalicom i sirenom te automatskim isključivanjem ventilacije.

Potrebna oprema

- trofazno napajanje 3x400 V
- kompletirani uputnik
- asinkroni motor
- kabeli 4x1,5 mm², 3x1,5 mm², 2x2x0,75 mm²
- kabelska trasa
- brodska bljeskalica i sirena
- dodatna sklopka
- dodatni relej
- električni vodiči
- električarski alat
- mjerni instrument multimetar

Opis vježbe

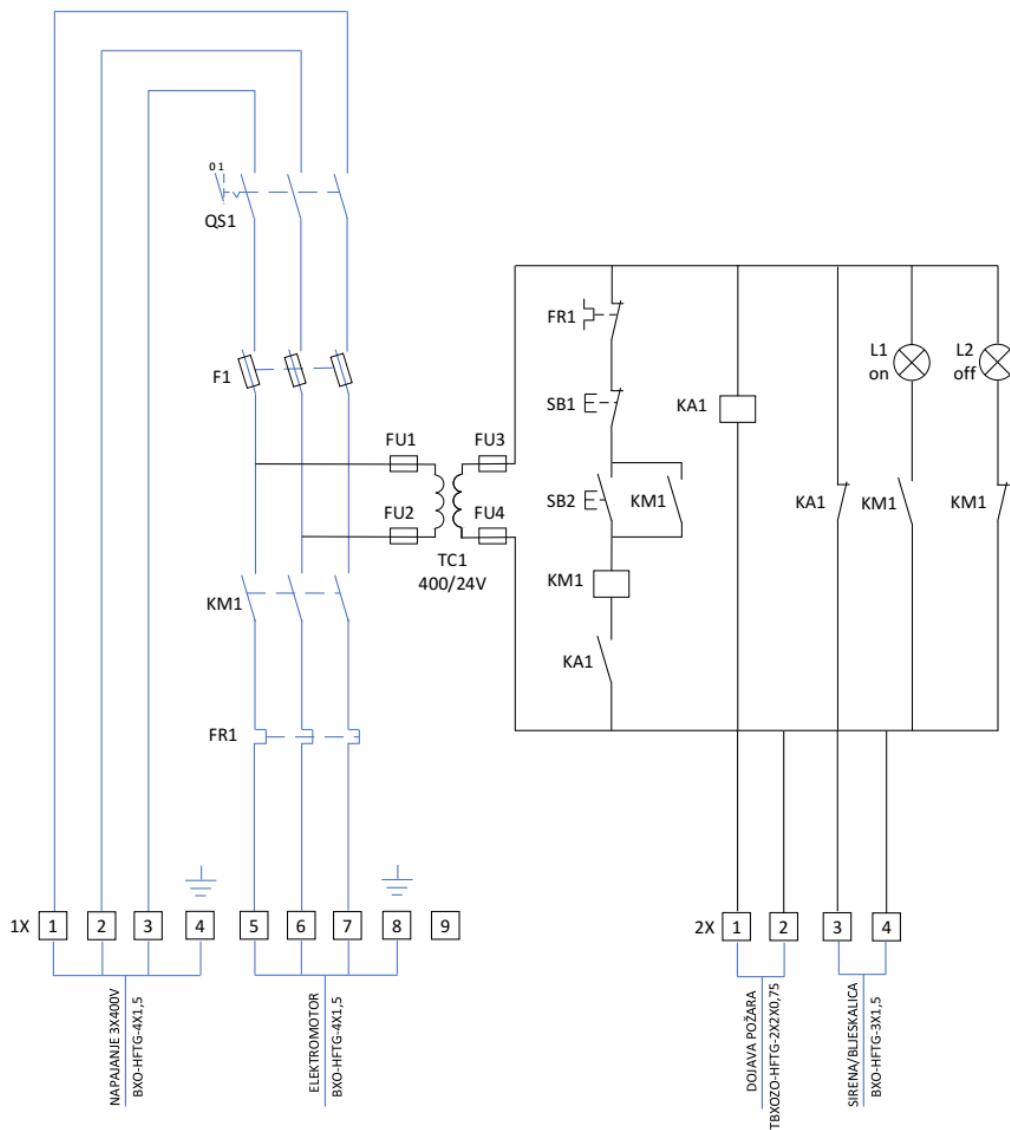
Potrebno je na uputniku ventilatora napraviti preinake prema priloženom nacrtu koji je prikazan na slici 37 tako da se pri dojavi požarnog alarma uključi brodska bljeskalica i sirena, a istodobno isključi ventilacija. Preinake u uputniku odnose se na dodavanje dodatnog releja KA1 koji upravlja napajanjem sirene i bljeskalice. Požarni alarm uključuje se pomoću izdvojene sklopke koja upravlja navedenim relejom. Potrebno je NO kontakt releja KA1 postaviti u upravljački krug sklopnika KM1 tako da se aktivacijom dojave požara isključi elektromotor koji pogoni ventilator, a uključi sirena i bljeskalica.

Nakon što se naprave preinake u upravljačkom dijelu uputnika, ispitati ispravnost spajanja kabela i ožičenja te uključiti napon, zatim aktivirati dojavu požara te demonstrirati brodski požarni alarm pri kojem se treba aktivirati zvučna i svjetlosna signalizacija, a istodobno isključiti ventilacija.

Napomena

Uključivanje napona i demonstraciju rada sustava smije izvoditi samo voditelj vježbi nakon što je prethodno ustanovio ispravnost i sigurnost električnog sustava.

Prilog



Slika 37: Električna shema brodske ventilacije

Popis literature

1. Vučetić, D. (2005), Brodski električni uređaji sustavi, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci
2. Milković, M. (1996), Brodski električni uređaji i sustavi, Dubrovnik
3. Antonić, R. (2010), Brodsko automatsko upravljanje, Pomorski fakultet, Sveučilište u Splitu
4. Kurtela, Ž. (2000), Osnove brodstrojarstva, Veleučilište u Dubrovniku
5. Hall, D. T. (1999), Practical Marine Electrical Knowledge, Witherby, London
6. Croatian register of shipping, (2020), Rules for the classification of ships, Part 12 - Electrical equipment
7. Croatian register of shipping, (2020), Rules for the classification of ships, Part 13 - Automation



EduSplit Obrtna tehnička škola
Regionalni centar kompetentnosti Split



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Za više informacija o EU fondovima molimo pogledajte web-stranicu
Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije.
www.strukturnifondovi.hr