

**BRODSKA ELEKTROTEHNIKA.** Električki uređaji izrađeni za upotrebu na kopnu po pravilu se ne mogu upotrebljavati na brodu. Klimatske prilike na brodu, naročito na palubi, znatno se mijenjaju ovisno o godišnjem doba i geografskom području. Morski zrak je vlažan i sadrži soli; relativna vлага iznosi na palubi 70...95%, u unutrašnjosti broda 40...70%, a 1 m<sup>3</sup> zraka sadrži do 5 mg soli. Iz vlažnog zraka se sol taloži na metalne dijelove broda i oni zbog elektrolitskog djelovanja korodiraju, a vlažni slani talog na izolatorima izaziva pojavu pužajućih struja. Zrak u okolini dizel-motora sadrži 3...20 mg/m<sup>3</sup> ulja, koje zajedno sa čadom i metalnom prašinom prevlači električki aktívne dijelove i dovodi do pojave pužajućih struja i preskoka izolacije na električkim strojevima i uređajima, ako oni nisu posebno izvedeni. Ljuljanje, posrtanje broda na valovima i neizbjježive vibracije traže posebna mehanička rješenja i učvršćenja. Električki strojevi i uređaji na brodu moraju besprikorno raditi i kad je brod nagnut uzdužno do 10°, poprečno do 15° i pri bočnom ljuljanju broda do 22,5°. Za ratne brodove postavljuju se još daleko stroži uslovi i posebni zahtjevi za rad uređaja pod specijalnim uvjetima. Od nekih uređaja se zahtijeva da pouzdano rade i pod vodom.

U skladu sa smisalom koji se pojmu »Brodska elektrotehnika« redovito daje, u ovom članku obrađeni su samo izvori električke energije na brodu, njena razdioba i njena potrošnja za pogon pomoćnih i palubnih strojeva, za električko grijanje, hlađenje i ventilaciju i za prijenos energije na propeler. Za primjenu električke u službi veze, u brodskim instrumentima i specijalnim uređajima v. poglavje Brodski instrumenti i specijalni uređaji u članku *Broj.*

**Propisi za gradnju i izvedbu brodskih električkih uređaja i instalacija.** Radi povećanja sigurnosti broda i zaštite života posade i putnika doneseni su internacionalni i nacionalni propisi o kvalitetu i izvedbi brodskih električkih uređaja. U skladu s Međunarodnom konvencijom o sigurnosti života na moru po jedine zemlje su donijele dopunske propise koji se u pogledu brodskih električkih uređaja u principu svode na to da svi brodski električki uređaji i instalacije moraju biti izvedeni tako da i u najtežim uvjetima pouzdano rade i da ne predstavljaju nikakvu opasnost za posadu i putnike. Klasifikaciona društva propisuju tip

Tablica 1

VRSTE STRUJE I NAPONI (u voltima) ZA POTROŠAČE SNAGE, ZA GRIJANJE I ZA RASVJETU NA BRODOVIMA  
Istosmjerni sistem

Klasifikaciono društvo	Snaga i grijanje		Rasvjeta	
	generatori	ostalo	tankeri	ostalo
JRB, LR, BV	230	220	110	220
ABS	240	230	115	230
PC	230	220	220	110
GL	230	220	110	110 i 220

Izmjenični (trofazni) sistem

Klasifikaciono društvo	Snaga	Grijanje tankova	Grijanje prostorija	Rasvjeta i jednofazni potrošači	
				tankeri	ostalo
JRB, LR	380 i 440	380 i 440	220	110	220
ABS	440	440	230	115	230
PC	380	220	220	127	220
BV, GL	380	380	220	110	220

Za dojavne svrhe i za palubne pomicne potrošače upotrebljavaju se istosmjerni naponi od 24, 60 i 110 V; u nekim slučajevima i 4 i 6 V.  
Za kratice klasifikacionih društava v. str. 264.

električkih izolacija, napone za brodsku mrežu i priključke pojedinih strojeva, aparata i uređaja u skladu s Konvencijom o zaštiti života na moru; odgovarajuće dimenzioniranje električkih postrojenja prema vrsti i namjeni; odgovarajuće konstrukcije i smještaj električke opreme na brodu itd. U tablici 1 prikazani su naponi i vrste struje koje za brodove propisuju klasifikaciona društva.

Za trofazne mreže odabire se u pravilu napon od 380 V, 50 Hz ili 440 V, 60 Hz, a za električki pogon brodova (propulziju) koriste se i naponi do 6 kV uz optimalnu frekvenciju. Klasifikaciona društva po pravilu dozvoljavaju promjene nazivnog napona

u iznosu ± 2,5% u području 20 do 100% nazivnog opterećenja. Prilikom prelaznih pojava izazvanih udarcima struje opterećenja dozvoljava se momentalni pad napona i do 50% nazivne vrijednosti generatora. Pri varijaciji faktora snage od 0,3 do 0,7 dozvoljava se pad napona i do 20% uz vraćanje na razliku od 3% napona kroz 3 sekunde.

U posljednjih 10 godina trofazni sistem je gotovo potpuno potisnuto istosmjerni, najprije na tankerima, a zatim i na većim trgovackim brodovima, zahvaljujući novim konstrukcijama synchronih generatora s vrlo brzom regulacijom napona, koji dozvoljavaju upotrebu praktičnih i jednostavnih induksijskih motora za pogon gotovo svih potrošača na brodu. Istosmjerni sistem primjenjuje se još uvek na nekim ribarskim brodovima, plovnim dizalicama i objektima koji se njime koriste za propulziju.

**Bilansa električke energije.** Dimenzioniranje izvora električke energije na brodu određuje se tzv. bilansom električke energije. Potrebna instalirana snaga izvora električke energije izračuna se uzimajući u obzir različita pogonska stanja broda kao: plovidbu, plovidbu u kanalima ili rijekama, manevriranje, krcanje tereta u luci vlastitim vitlima, mirovanje u luci i dr., posebno za hladne i posebno za tople zone plovidbe kao i za rad po danu ili po noći. U slučaju nužde električku energiju dobavlja poseban izvor električke energije koji mora napajati potrošače prvenstveno prema zahtjevima sigurnosti broda. U proračunu upotrebljavaju se tehnički i iskustveni podaci, i to: priključna vrijednost potrošača, faktor opterećenja, faktor istodobnosti, i dr. Pri konačnom određivanju potrebne snage generatora uzima se u obzir pad napona, odnosno gubici na mreži, u iznosu od 5%.

Algebarsko zbrajanje potrošnje (obično u kVA) u trofaznoj mreži nije ispravno, kao ni zbrajanje vrijednosti samo aktivnih snaga, jer su momentalna vrijednost i faktor snage ( $\cos \varphi$ ) svakog potrošača vremenski različiti. Samo geometrijski zbroj tih veličina daje ispravan rezultat. Prakticira se izračunavanje prividne snage svakog potrošača

$$P_p = P_a \cdot \tg \varphi,$$

gdje je  $P_a$  aktivna snaga,  $\tg \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}$ . Pojedinačne se vrijednosti prividnih snaga zbroje, a rezultirajući faktor snage izračuna iz zbroja vrijednosti aktivnih snaga i zbroja prividnih snaga. Takav je postupak dugotrajan, a rezultat nesiguran zbog mnogih pretpostavljenih vrijednosti, pa se npr. u USA i Engleskoj najčešće računa tako da se aktivne snage zbroje i na kraju — za grupe potrošača ili sve potrošače zajedno, prema raspoloživim iskustvenim faktorima dobivenim najčešće statističkim metodama — procjeni rezultirajući faktor snage i tako odredi potrebna snaga. U

Tablica 2

STRUJE POKRETANJA, POTEZNI MOMENTI, VRIJEDNOST POKRETANJA I VRIJEME ZALETA BRODSKIH INDUKCIJSKIH MOTORA U ZAVISNOSTI OD BRZINE VRTNJE

Sinhrona brzina vrtnje $n_s$ min <sup>-1</sup>	Odnos struje pokretanja i nazine struje $I_p / I_n$	Odnos pokretnog i nazineg momenta $M_p / M_n$	Vrijednost pokretanja $G_p = \frac{M_p}{M_n} \frac{I_n}{I_p}$	Vrijeme zleta $t_z$ za normalni kavezni motor sek	Vrijeme zleta $t_z$ motora sa povećanim klizanjem sek
3000	5,7...7	1,5...2,2	0,26...0,32	0,14...0,17	—
1500	4,5...6,2	1,6...2	0,32...0,36	0,08...0,10	0,12...0,14
1000	4,2...6,0	2...2,5	0,42...0,48	0,06...0,08	0,09...0,10
750	4,0...5,5	2...2,5	0,45...0,50	0,05...0,07	—

Tablica 3

STRUJE POKRETANJA, POTEZNI MOMENT I VRIJEDNOST POKRETANJA RAZLIČITIH VRSTA INDUKCIJSKIH MOTORA (oznake i jedinice kao u tablici 2)

Indukcijski motor	$I_p / I_n$	$M_p / M_n$	$G_p = \frac{M_p}{M_n} \frac{I_n}{I_p}$
s normalnim kaveznim rotorom	5,5...9,0	1,0...1,5	0,15...0,30
s dvokaveznim rotorom	3,5...4,5	1,5...3,0	0,30...0,60
s rotorom sa visokim štapovima	3,5...4,5	1,5...3,5	0,45...0,85

Tablica 4 BILANSA ELEKTRIČNE ENERGIJE MOTORNOG BRODA »WARTENFELS« OD 11 800 t DW

Fotrošač	Komada	Instalirana snaga po jednoj stroju, kW	U plovidbi		Manevr		Rad u luci sa vittima		Mirovanje u luci	
			hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW
<b>GRUPA I</b>										
Pomoći strojevi strojarnice (trajni pogon)										
Rashladna pumpa morske vode	1	50	47	49	46	48	—	—	—	—
Kashladna pumpa slatke vode	1	79	63	70	61	65	—	—	—	—
Rashladna pumpa rezervna	1	79	—	—	—	—	—	—	—	—
Rashladna pumpa morske i slatke vode za pomoćne dizel-motore	2	13,7	—	—	—	—	12	13	12	13
Rashladne pumpe rasprškača	2	1,3	1	1	1	1	—	—	—	—
Pumpa ulja za podmazivanje	2	31	24	24	23	23	—	—	—	—
Pumpe za dobavu teškog goriva	2	2,4	2,1	2	2,1	2	—	—	—	—
Pumpe za napajanje pomoćnog kotla	2	4,1	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Gorac pomoćnog kotla	1	1,2	—	—	1	1	1	1	1	1
Ventilatori strojarnica	4	5	13	18	13	18	9	18	—	5
Priklučna vrijednost grupe I			153,6	167,5	150,6	161,5	25,5	35,5	16,5	22,5
Faktor istodobnosti			1	1	1	1	1	1	1	1
Vjerojatna vršna vrijednost snage			153,6	167,5	150,6	161,5	25,5	35,5	16,5	22,5
<b>GRUPA II</b>										
Pomoći strojevi strojarnice (povremeni pogon)										
Kompresori	2	75	—	—	64	64	—	—	—	—
Separatori teškog ulja	3	8,9	16	16	16	16	—	—	—	—
Separator ulja za podmazivanje	1	6,5	6	6	6	6	—	—	—	—
Separator pogonskog ulja	1	6,5	6	6	6	6	6	6	6	6
Separator ulja za podmazivanje pomoćnih dizel-motora	1	3,3	3	3	3	3	3	3	3	3
Protočno grijalo vode	1	3	—	8	8	8	8	8	8	8
Protočno grijalo pogonskog ulja	1	24	8	8	8	8	8	8	8	8
Protočno grijalo ulja za podmazivanje pomoćnih dizel-motora	1	36	12	12	12	12	—	—	—	—
Pumpa za talog	1	1,2	1	1	1	1	—	—	—	—
Ventilator separatora	1	1,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Trim-pumpa teškog ulja	1	19	17	17	17	17	—	—	—	—
Trim-pumpa pogonskog ulja	1	8,9	8	8	8	8	—	—	—	—
Prekretni uredaj	1	18,5	—	—	—	—	16	16	16	16
Priklučna vrijednost grupe II			81,5	81,5	145,5	145,5	40,5	40,5	16	16
Faktor istodobnosti			0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	1	1
Vjerojatna vršna vrijednost snage			24,5	24,5	43,7	43,7	16,2	16,2	16	16
<b>GRUPA III</b>										
Pomoći strojevi brodskog pogona (povremeni pogon)										
Balastna pumpa	1	10/20,5	—	—	18	18	18	18	—	—
Pumpa za pranje palube i gašenje požara	1	37	—	—	—	—	—	—	—	—
Pumpa kaljuže i za gašenje požara	1	13,2/14,5	11	11	2	2	2	2	2	2
Pumpe hidrofora	3	1,2	2	2	2	2	2	2	15	15
Priprema tople vode 500 l	1	15	—	—	—	—	15	15	12	12
Priprema tople vode 200 l	1	12	12	12	12	12	12	12	—	—
Cirkulacijska pumpa vruće vode	2	2,4	2	2	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5
Cirkulacijska pumpa tople vode	2	0,5	—	—	1,5	1,5	—	—	—	—
Pumpa za nečistu vodu	2	1,7	1,5	1,5	1,5	1,5	—	—	—	—
Zračna pumpa rasplinjača	1	4,1	3,5	3,5	3,5	3,5	—	—	—	—
Cirkulacijska pumpa rasplinjača	1	6,5	5,5	5,5	5,5	5,5	—	—	—	—
Pumpa destilata rasplinjača	1	2,5	2	2	2	2	—	—	—	—
Priklučna vrijednost grupe III			39,5	39,5	44,5	44,5	47,5	47,5	29,5	29,5
Faktor istodobnosti			0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
Vjerojatna vršna vrijednost snage			12	12	17,8	17,8	14,2	14,2	11,8	11,8
<b>GRUPA IV</b>										
Grijanje, provjetranje, klimatizacija										
a) Klimatizacija krmne										
Kompresori	2	38	—	33	—	33	—	33	—	33
Rashladne pumpe	2	5	—	4,5	—	4,5	—	4,5	—	4,5
Pumpa za rasolinu	2	3,3	—	3	—	3	—	3	—	3
Električko grijanje	2	62	55	—	55	—	55	—	55	—
Ventilatori	2	5,5	10	10	10	10	10	10	10	10
b) Klimatizacija srednjeg dijela broda										
Kompresor	1	13	—	11	—	11	—	11	—	11
Rashladna pumpa	1	5	—	4,5	—	4,5	—	4,5	—	4,5
Električko grijanje	1	19,3	17	17	17	17	17	17	17	17
Ventilatori	1	5,5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ventilatori stambenih i gospodarskih prostorija	10	ukupno 5,2	5	5	5	5	5	5	5	5
Stropni ventilatori	13	0,35	—	4,5	—	4,5	—	4,5	—	4,5
Električko grijanje (uključena i strojarnica)		61,5	55	—	55	—	55	—	55	—
Priklučna vrijednost grupe IV			147	80,5	147	80,5	147	80,5	147	80,5
Faktor istodobnosti			0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,8	1
Vjerojatna vršna vrijednost snage			88,2	80,5	88,2	80,5	88,2	80,5	117,6	80,5

## BRODSKA ELEKTROTEHNIKA

Potrošač	Komada	Instalirana snaga po jednom stroju, kW	U plovidbi		Manevar		Rad u luci sa vjetrima		Mirovanje u luci	
			hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW
<b>GRUPA V</b>										
a) Rashladni uređaji										
Kompresori	2	5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Rashladne pumpe	2	1,1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ventilator	1	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Pumpa za rasolinu	1	3,8	—	—	—	—	—	—	—	—
b) Rashladni uređaj tereta										
Kompresori	2	38	32	32	64	64	64	64	—	—
Rashladne pumpe	2	3,3	3	3	3	3	3	3	—	—
Pumpa za rasolinu	2	3,3	3	3	3	3	3	3	—	—
Ventilatori	2	1,2	1	1	1	1	1	1	—	—
Grijac rasoline	1	50	—	—	—	—	—	—	—	—
Priključna vrijednost grupe V			44,9	44,9	76,9	76,9	76,9	76,9	5,9	5,9
Faktor istodobnosti			0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
Vjerovatna vršna vrijednost snage			27	36	69,2	69,2	69,2	69,2	4,8	4,8
<b>GRUPA VI</b>										
<i>Podzemni strojevi</i>										
Teretna vila	7	44	—	—	—	—	308	308	—	—
Vila za teški teret	4	44	—	—	—	—	176	176	—	—
Vila za samarice	10	3,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Dizalice	2	65	—	—	—	—	84	84	—	—
Pritezna vila	2	26,5	—	—	15	15	—	—	—	—
Sidreno vilo	1	46	—	—	30	30	—	—	—	—
Pumpa za jestivo ulje	2	24	—	—	—	—	40	40	—	—
Kormilarski uređaj	2	27,5	9	9	9	9	—	—	—	—
Priključna vrijednost grupe VI			9	9	54	54	608	608	—	—
Faktor istodobnosti			1	1	0,7	0,7	0,25	0,25	—	—
Vjerovatna vršna vrijednost snage			9	9	38	38	152	152	—	—
<b>GRUPA VII</b>										
<i>Gospodarski uređaji</i>										
Električki štednjak	1	26	26	26	26	26	26	26	15	15
Pećnica	1	10	10	10	10	10	10	10	5	5
Kuhinjski stroj	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mješalica za tjesto	1	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	—	—
Ljuštilica za krumpir	1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Priprema vode za kuhanje	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Priprema vode za kuhanje	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4
Hladionici po 1000 1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hladionici po 500 1	2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Mali štednjaci	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1
Stroj za pranje rublja	1	12,7	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	—	—
Centrifuga za rublje	1	1,1	1	1	1	1	1	1	—	—
Stolno kuhalo	3	2,1	4	4	4	4	4	4	—	—
Priključna vrijednost grupe VII			67,8	67,8	67,8	67,8	67,8	67,8	31,1	31,1
Faktor istodobnosti			0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
Vjerovatna vršna vrijednost snage			20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	12,4	12,4
<b>GRUPA VIII</b>										
<i>Radionica</i>										
Dizalica strojarnice	1	8	—	—	—	—	7	7	7	7
Strug	1	2,6	2	2	2	2	2	2	2	2
Bušilica	1	1,2	1	1	1	1	1	1	1	1
Brusilica	1	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Agregat za električko zavarivanje	1	12	10	10	10	10	10	10	10	10
Priključna vrijednost grupe VIII			13,5	13,5	13,5	13,5	20,5	20,5	20,5	20,5
Faktor istodobnosti			0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Vjerovatna vršna vrijednost snage			2,7	2,7	2,7	2,7	6,1	6,1	6,1	6,1
<b>GRUPA IX</b>										
<i>Rasvjeta</i>										
Opća rasvjeta	1	30	30	30	30	30	30	30	25	25
Rasvjeta palube		8,8	—	—	—	—	8,8	8,8	5	5
Rasvjeta skladišta (utičnice)		4	—	—	—	—	4	—	—	—
Suez-reflektor		3	—	—	—	—	—	—	—	—
Priključna vrijednost grupe IX			30	30	33	33	42,8	42,8	30	30
Faktor istodobnosti			0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3	0,3
Vjerovatna vršna vrijednost snage			12	12	16,5	16,5	25,7	25,7	9	9

Potrošač	Komada	Instalirana snaga po jednom stroju, kW	U plovidbi		Manevar		Rad u luci sa vitlima		Mirovanje u luci	
			hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW	hladna zona kW	topla zona kW
GRUPA X Nautički uredaji										
Radio-stanica		3	3	3	3	3	—	—	—	—
Radio-goniometar		1	1	1	—	—	—	—	—	—
Radar		1,5	1,5	1,5	1,5	—	—	—	—	—
Giro-kompas		2	2	2	2	2	2	2	—	—
Autopilot		0,2	0,2	0,2	—	—	—	—	—	—
Dubinometar		0,2	0,2	0,2	0,2	—	—	—	—	—
Brzinomjer		0,2	0,2	0,2	0,2	—	—	—	—	—
Ploča jasne vidljivosti	2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	—	—	—	—
Komandni i dojavni uredaji		4	4	4	4	1	1	—	—	—
Reflektori	2	1	1	1	1	—	—	—	—	—
Priključna vrijednost grupe X			13,3	13,3	12,1	12,1	3	3	—	—
Faktor istodobnosti			0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	—	—
Vjerojatna vršna vrijednost snage			4	4	3,7	3,7	2,1	2,1	—	—
<b>REKAPITULACIJA</b>										
Grupa I: Pomoćni strojevi strojarnice (TP)			153,6	167,5	150,6	161,5	25,5	35,5	16,5	22,5
Grupa II: Pomoćni strojevi strojarnice (JP)			24,5	24,5	43,7	43,7	16,2	16,2	16	16
Grupa III: Pomoćni strojevi pogona (JP)			12	12	17,8	17,8	14,2	14,2	11,8	11,8
Grupa IV: Grijanje, prozračivanje, klimatizacija			88,2	80,5	88,2	80,5	88,2	80,5	117,6	80,5
Grupa V: Rashladni uredaji			27	36	69,2	69,2	62,9	69,2	4,8	4,8
Grupa VI: Palubni strojevi			9	9	38	38	152	152	—	—
Grupa VII: Gospodarski uredaji			20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	12,4	12,4
Grupa VIII: Radionica			2,7	2,7	2,7	2,7	6,1	6,1	6,1	6,1
Grupa IX: Rasvjeta			12	12	16,5	16,5	25,7	25,7	6	6
Grupa X: Nautički uredaji			4	4	3,7	3,7	2,1	2,1	—	—
Istovremeno potrebna snaga potrošača (vršna vrijednost snage)			353,4	368,6	450,8	454,0	419,9	421,9	194,2	163,1
Faktor snage uređaja			0,85	0,85	0,85	0,85	0,73	0,7	0,9	0,85
Potrebna snaga generatora u kVA		415	435	530	535	575	600	216	1	195
Broj generatora od po 350 kVA u pogonu		2	2	2	2	2	2	2	1	1

Tablica izradena prema: Kosack-Wangerin, Elektrotechnik auf Handelsschiffen, Berlin 1964.

Njemačkoj najčešće se grupiraju potrošači i zbrajam pune priključne vrijednosti u kW, a dobiveni rezultat korigira iskustvenim faktorima koji obuhvaćaju faktor opterećenja, faktor posade i faktor istodobnosti.

U trofaznim sistemima provjerava se izbor veličine generatora kontrolnim proračunima uzimajući u obzir snagu najvećih motora koji se direktno uklapaju na mrežu, njihove zaletne karakteristike, tj. vremena zaleta koja se dobivaju iz formule

$$t_z = \frac{\pi \cdot n}{2g} \cdot \frac{GD^2}{M_u},$$

gdje je  $GD^2$  zamašni moment svih rotirajućih masa motora i pogonjenog stroja,  $n$  brzina vrtnje motora,  $M_u$  moment ubrzanja,  $g$  ubrzanje sile teže.

Za dimenzioniranje mogu poslužiti podaci iz tablica 2 i 3, iz kojih se vidi da je pri manjim brzinama vrtnje struja pokretanja indukcijskih motorâ manja, a znatno je manja za dvokavezne motore i motore sa visokim štapovima. Ovi posljednji imaju nešto veće vrijeme zaleta, ali razvijaju uz smanjenu struju pokretanja znatno veći potezni moment, čime se povisuje i tzv. vrijednost pokretanja  $G_p$ .

Za stanovite službe na brodu (npr. za kormilarske uredaje) potrebni su motori sa velikim poteznim momentom i duljim vremenom zaleta (0,2...0,3 sek). Upotrebovi višebrinskih motorâ mogu se smanjiti udarci struje pokretanja, što omogućava da se ekonomičnije

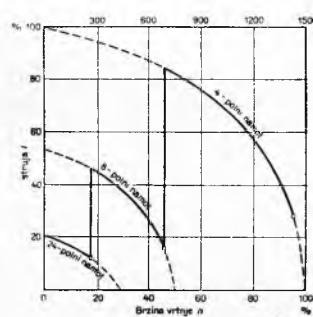
dimenzioniraju generatori i brodske električne centrale (sl. 1). Dosadanje iskustvo pokazuje da trofazni mrežni sistem ne zahtijeva jaču brodsku električku centralu nego istosmjerni sistem. Primjer proračuna bilans električne energije pokazan je u tablici 4.

**Brodski električni strojevi.** Brodski generatori i elektromotori uglavnom se u pogledu pogonskih karakteristika ne razlikuju od strojeva za sličnu primjenu na kopnu. Svi brodski električni strojevi priključeni su po pravilu direktno na strojeve koje pogone ili koji ih pogone. Upotreba klinastih remena je rijeda i to samo za osovinske generatore ili kompresore. Manji i srednji agregati na zajedničkom su postolju, a veći imaju posebne temelje koji su dio konstrukcije broda.

Generatori su obično jednoležajni radi manjih dimenzija čitavog agregata i manjih torzijskih napona osovine generatora koji nastaju uslijed nejednolikog hoda dizel-motora. Elektromotori mogu imati horizontalnu ili vertikalnu osoviju. Vertikalni elektromotori najčešće se upotrebljavaju za pogon pumpi, a horizontalni s nogama za pogon većih ventilatora, kompresora, kormilarskih uredaja, sidrenog vrtila i dr. Brodski palubni strojevi, zbog specifičnih uvjeta rada i montaže na palubi, imaju i posebne karakteristike, oblike i zaštitu. Dozvoljena strujna naprezanja brodskih kabela su znatno manja nego kabela kopnenih instalacija. Stoga su i brodski kabeli većih presjeka a priključne kutije brodskih strojeva znatno većih dimenzija nego na kopnenim uređajima.

Brzina vrtnje brodskih električnih strojeva ovisi o njihovoj namjeni. U novije vrijeme sve se više upotrebljavaju brzohodniji strojevi jer imaju male dimenzije i malu težinu. Najčešće su u upotrebi strojevi koji imaju kod 50 Hz sinhronie brzine vrtnje 1000 i 1500 min<sup>-1</sup> ili kod 60 Hz 1200 i 1800 min<sup>-1</sup>.

Prema nekim propisima strojevi moraju raditi i pri momentalnom nagibu do 45° u pravcu osovine, pa su stoga ležaji osovine redovito valjkasti i dimenzionirani za odgovarajuća aksijalna naprezanja. Zbog vibracija broda ležaji stroja koji miruje dodatno



Sl. 1. Struja zaleta kod automatskog pokretanja trofaznog indukcijskog motora s tri brzine za brodsku teretnu vrtlu

su opterećeni, pa su ponekad posebno mehanički blokirani. Radi manjeg dodatnog opterećivanja ležaja horizontalni strojevi moraju biti smješteni paralelno s uzdužnom osi broda. Prostorije u kojima su strojevi moraju biti dobro ventilirane da se u njima ne bi skupljali zapaljivi plinovi, a sami strojevi moraju biti dovoljno udaljeni od zapaljivih materijala (u okomitom smjeru 120 cm, u horizontalnom 30 cm). Svaki stroj treba da je zaštićen od mehaničkog oštećenja i kvarova koji bi mogli nastati prodiranjem vode, ulja ili uljnih para, a dijelovi pod naponom moraju biti osigurani od slučajnog dodira ako je istosmerni napon veći od 250 V, a fazni napon veći od 125 V. U najnovijim preporukama IEC (International Electrotechnical Commission) navedeni su uvjeti ispitivanja zaštite brodskih električnih strojeva od vode i zapaljivih plinova; ti se uvjeti razlikuju od uvjeta propisanih za slične mehaničke zaštite kopnenih izvedbi. Generatori moraju biti zaštićeni bar od kapanja vode. Svi strojevi moraju biti solidno uzemljeni (spojeni na glavnu masu broda).

Izolacija namota i zaštita od korozije mora se izvesti za uvjete koji vladaju na brodu. Najbolja zaštita protiv djelovanja soli i upijanja vlage postiže se impregnacijom namota u vakuumu. Izolacije se obično ispituju u vlažnoj komori sa  $95 \pm 3\%$  vlage na temperaturi  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Izolacija zadovoljava ako otpor izolacije nakon 5 dana ležanja u komori ne padne ispod  $0,25 \text{ M}\Omega$ . Otpor izolacije na brodu varira, već prema prilikama u atmosferi i geografskoj širini, od  $100 \text{ M}\Omega$  pa do  $0,1 \text{ M}\Omega$ . Prema propisima LR minimalni dozvoljeni otpor izolacije jest  $0,1 \text{ M}\Omega$ , a prema propisima BV  $0,25 \text{ M}\Omega$ . Izolacija lamela kolektora može biti samo od mikanita.

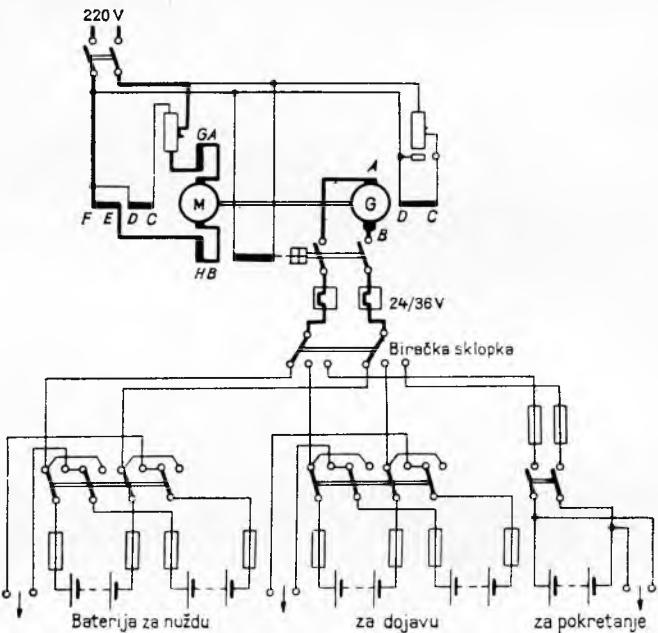
Svi dijelovi koji vode struju moraju biti od bakra ili od messinga. Držači četkica i ostali slični dijelovi moraju biti izrađeni od nerđajućeg materijala ili prevučeni odgovarajućom zaštitom protiv korozije (galvanskom metalnom prevlakom ili lakom). Radi uklanjanja radio-smetnji moraju se strojevi koji iskre na odgovarajući način blokirati. Obično se to izvodi sa dva u seriju spojena kondenzatora najčešće po  $0,5 \mu\text{F}$ , kojima je središte uzemljeno. Osim toga, svi pomoći polovi istosmjernih strojeva spajaju se simetrično armaturi, tako da predstavljaju prigušnice koje leže između mreže i armature.

Kućišta električnih strojeva su uglavnom zavarena. Kućišta, štitovi i zasloni većih trofaznih strojeva su zavareni ili od lijevanog željeza, robustne izvedbe. Dopuseni su i motori s kućištima od lakovanih metalnih otpornih na morsku vodu (npr. od aluminijsko-magnijejske legure sa 5% Mg: GAlMg5) i pogodno zaštićenih od korozije. Tako se postiže ušteda na težini i do 25%.

Najnajizjem mjestu strojevi moraju imati otvore za istjecanje kondenzata. Protiv rošenja često se ugraduju električni grijaci koji se automatski uključuju kad stroj prestane raditi.

energije u spoju s osovinskim generatorom, a na manjim jedinicama za napajanje brodske mreže za vrijeme mirovanja u luci. Na podmornicama služe za napajanje električkog motora kojim se pokreće propeler. Na tankerima se upotrebljavaju prijenosne akumulatorske svjetiljke napona 2 ili 4 V.

Izvori električke energije za nuždu moraju biti smješteni izvan prostora strojarnice i iznad glavne palube, a moraju biti dovoljnog kapaciteta da mogu neprekidno napajati predvidene potrošače kroz 35 sati. Za brodove namijenjene obalnoj plovidi dozvoljava se i manji kapacitet. Ukoliko brod raspolaže agregatom za nuždu, akumulatorska baterija služi dodatno kao rezervni izvor energije koji radi samo od trenutka ispada glavnih generatora do stavljanja u pogon aggregata za nuždu. U tom slučaju moraju akumulatori napajati kroz pola sata rasvjetu za nuždu i električke zatvarače nepropusnih pregrada. Teretni brodovi do 500 BRT moraju imati akumulatorsku bateriju dovoljnu za 6-satni pogon radio-stanice



Sl. 2. Uredaj za punjenje akumulatorskih baterija na brodu

i rasvjete za nuždu na palubi čamaca. Manje plovne jedinice moraju imati akumulatorsku bateriju koja služi osim za rasvjetu i za pokretanje glavnog stroja. Baterija mora biti dimenzionirana

Tablica 5  
UVJETI ZA PREOPTERETIVOST ELEKTRIČKIH STROJEVA PREMA NEKIM KLASIFIKACIONIM DRUŠTVIMA  
(Mjerenja se vrše nakon trajnog opterećenja nazivnim teretom i postignute stacionarne temperature)

Vrst stroja	LR	BV	JRB	IEC
<i>Generatori</i>				
Istosmjerni	150% nazivne struje 15 sek nakon zagrijavanja stroja do stacionarne temperature	150% nazivne struje 1 min; 120% nazivne struje 1 sat, ostalo kao LR	kao LR	kao LR
Trofazni i jednofazni	kao kod istosmjernih	kao kod istosmjernih	kao kod istosmjernih	150% nazivne struje 2 min nakon zagrijavanja
<i>Motori</i>				
Istosmjerni	150% $M_n$ 15 sek kao istosmjerni 160% $M_n$ 15 sek	160% $M_n$ 15 sek 150% $M_n$ 15 sek 160% $M_n$ 15 sek 133% $M_n$ 15 sek 150% $M_n$ 15 sek	150% $M_n$ 15 sek kao istosmjerni kao istosmjerni 130% $M_n$ 15 sek 150% $M_n$ 15 sek	150% $M_n$ 15 sek kao istosmjerni kao istosmjerni — prema sporazumu
Višefazni sinhroni Višefazni induksijski Jednofazni induksijski Višefazni dvokavezni	—	—	—	—

Klasifikaciona društva propisuju uvjete preopteretivosti brodskih električnih strojeva (tablica 5).

#### IZVORI ELEKTRIČKE ENERGIJE

**Akumulatori** kiselinski (olovni) i alkalični (čelični) služe na brodovima kao izvori električke energije za slučaj nužde, za napajanje pokretača motora s unutrašnjim izgaranjem, kao izvori

tako da je moguće pokrenuti stroj i nakon jednonoćnog napajanja rasvjete.

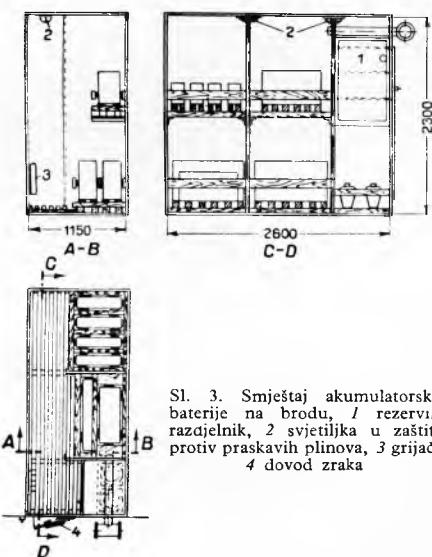
Uredaj za punjenje akumulatora na brodu zajednički je za sve akumulatore osim za bateriju radio-stanice. Na većim brodovima i podmornicama uredaji su smješteni u prostoru odvojenom od baterije. Za punjenje baterija na brodu s istosmjernim sistemom služe pretvarači. Punjenje iz mreže obično nije ekonomično, jer

je u većini slučajeva napon 220 ili 110 V, a baterija 24 ili 36 V, pa se u predotporima gubi i do 89% snage. Na brodu s trofaznim sistemom akumulatori se obično pune s pomoću transformatora i ispravljača. Živini ispravljači se izbjegavaju jer su osjetljivi na vibracije i gibanja broda a nisu ni mali nanički dovoljno otporni. Veći selenski ispravljači hlađe se ulje i. U najnovije vrijeme sve se više upotrebljavaju silicijski ispravljači jer su izvanredno malih dimenzija i imaju visok stepen djelovanja. Napon se regulira preklopkom i višestepenim izvodima na transformatoru (sl. 2).

Posude brodskih akumulatora moraju biti od čvrstog i negativnog materijala, gradene tako da elektrolit ne može istjecati ni pri nagibu broda od 40°. Više čelija je u posebnom čvrstom drvenom sanduku, čvrsto vezanom za konstrukciju broda (sl. 3). Akumulatorske baterije snage punjenja od 1,5 kW i više moraju biti smještene u posebnom ventiliranom prostoru sa najmanje 30 izmjena zraka na sat zbog opasnosti eksplozije praskavog plina koji se stvara u prostoriji. Rasvjetna tijela u prostoru za akumulatorne moraju biti izvedena s posebnom zaštitom od eksplozivnih i zapaljivih plinova, a sklopka mora biti izvan prostorije. Prema njemačkim normama HNA izračunava se potrebna količina zraka u akumulatorskoj prostoriji iz formule:

$$Q = 0,42 \cdot I \cdot n \cdot 26 \cdot 10 = 110 \cdot I \cdot n,$$

gdje je  $I$  maksimalna struja punjenja akumulatora (A), 0,42 broj litara vodika što ih razvija 1A na sat,  $n$  broj članaka, 26 potrebno razredjenje vodika zrakom i 10 faktor sigurnosti.



Sl. 3. Smještaj akumulatorske baterije na brodu, 1 rezervni razdjelnik, 2 svjetiljka u zaštiti protiv praskavih plinova, 3 grijač, 4 dovod zraka

**Brodski generatori.** *Istosmerni generatori* služe za napajanje brodske električke mreže, kao izvori električke energije za slučaj nužde, kao motor-generatori za punjenje akumulatorskih baterija ili za napajanje specijalnih potrošača, za pogon propulzijskih uredaja.

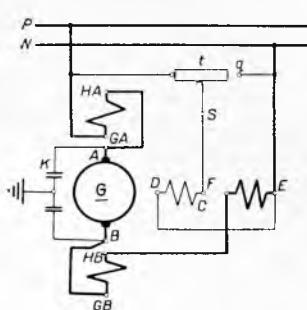
Za napajanje istosmjerne mreže najčešće se upotrebljava kompaundirani generator sa samouzbudom koju dobiva iz porednog i serijskog namota uzbude (sl. 4). Namoti uzbude spojeni su i podešeni tako da daju odgovarajuću vanjsku karakteristiku napona, tj. da se pojačano polje koje nastaje porastom struje kompenzira potpuno ili djelomično poljem koje nastaje u serijskom namotu uzbude. Sl. 5 prikazuje vanjsku karakteristiku takvog generatora prema zahtjevima GL. Napon iznad  $\pm 2,5\%$  regulira se obično ručnim regulatorom napona. Propisi HNA određuju da napon generatora uslijed naglih promjena opterećenja do 50% nazivne vrijednosti ne smije porasti više od 4%. Brzina vrtnje dizel-

generatora prilikom naglog ispadu tereta ne smije narasti za više od 10%.

Precizno podešavanje statike pogonskih strojeva od najveće je važnosti za podjelu opterećenja prilikom paralelnog rada generatora. S obzirom na titranje svjetla postavljaju se posebni zahtjevi u pogledu stupnja nejednolikosti pogonskog motora. Besprikorni paralelni rad mora biti zajamčen u području između 20 i 110% nazivne vrijednosti struje. Pravilna podjela opterećenja između priključenih generatora zahtijeva bržljiv studij karakteristika napona. Često je potrebno osiguravati paralelni rad posebno izvedenim ekvipotencijalnim spojevima.

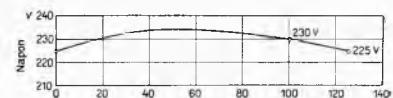
*Brodski trofazni generatori* su uvijek sinhroni, najčešće spojeni u zvezdu s izvedenom nultačkom, moraju imati automatsku regulaciju napona koja garantira održavanje napona u granicama od  $\pm 2,5\%$  i kod statike pogonskog dizel-motora koja obično iznosi 4...5%. Regulacija napona velikih generatora postiže se brzim regulatorima koji djeluju na uzbudu.

Generatori do 1000 kVA izvode se kao samouzbudni kompaundirani, a za snage do 100 kVA primjenjuju se različiti sistemi i konstrukcije generatora i uzbude. Samouzbudni kompaundirani generatori odlikuju se jednostavnosću i prikladnim karakteristikama, vrlo brzom regulacijom napona (0,09...0,12 sek) pri naglim promjenama opterećenja (sl. 6). Ovi generatori imaju uzbudnu struju ovisnu o vlastitom naponu i o struci armature. Struja uzbude je istosmerna, pa generatori imaju u sistemu uzbude ispravljač.

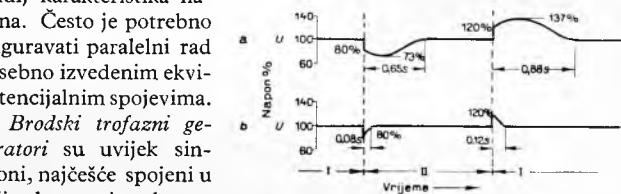


Sl. 4. Shema kompaundiranog istosmernog generatora

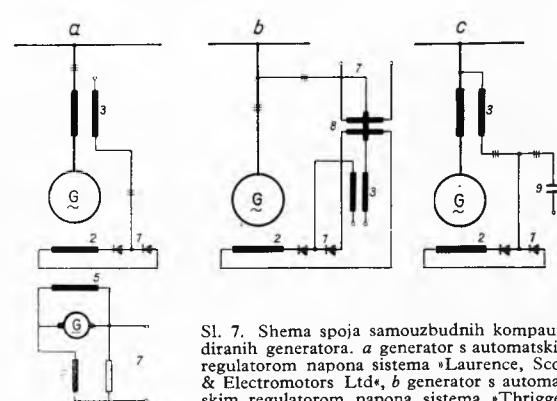
uzbude. Sl. 5 prikazuje vanjsku karakteristiku takvog generatora prema zahtjevima GL. Napon iznad  $\pm 2,5\%$  regulira se obično ručnim regulatorom napona. Propisi HNA određuju da napon generatora uslijed naglih promjena opterećenja do 50% nazivne vrijednosti ne smije porasti više od 4%. Brzina vrtnje dizel-



Sl. 5. Vanjska karakteristika kompaundiranog brodskog istosmernog generatora



Sl. 6. Usporedba brzine regulacije napona. a generator s brzim regulatorom napona, b samouzbudni kompaundirani generator; I neopterećeni generator, II 110% nazivnog opterećenja generatora kod  $\cos \varphi = 0,5$



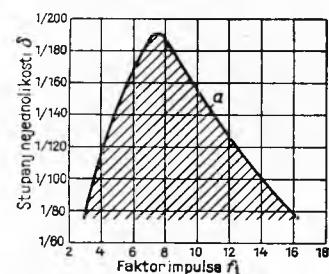
Sl. 7. Shema spoja samouzbudnih kompaundiranih generatora. a generator s automatskim regulatorom napona sistema "Laurence, Scott & Electromotors Ltd.", b generator s automatskim regulatorom napona sistema "Thrigge", c generator sistema "Rade Končar"

Primjenjuju se uglavnom tri vrste sistema ovih strojeva: strojevi s automatskom regulacijom napona, samouzbudni kompaundirani generatori i samouzbudni kompaundirani generatori s dodatnom automatskom regulacijom napona (sl. 7). Održavanje konstantnog napona zahtijeva uz  $\cos \varphi = 0,8$  povećanje uzbude na vrijednost dvostruko veću od uzbude u praznom hodu, a za veću induktivnu opterećenja to je povećanje još veće. Struja opterećenja djeluje direktno na promjenu struje uzbude putem transformatora u uzbudnom strujnom krugu. Odgovarajućim dimenzioniranjem stroja utjecaj struje opterećenja  $I_t$  i faktora snage sudi se na najmanju mjeru, a utjecaj se promjene otpora zbog promjene temperature u sistemima samouzbude koji rade na principu rezonancije isključuje. Induktivni se otpor ovih spojeva mijenja linearno

s frekvencijom pa je struja uzbude neovisna o frekvenciji, a napon je linearno proporcionalan uzbudnoj struci (sl. 7).

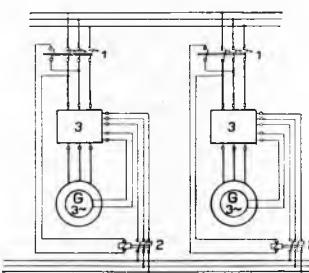
**Paralelni rad generatora.** Ako za pogon generatora služi klipni stroj, generator ima snažan prigušni namot, a cijeli agregat mora imati zamašne mase radi što manjeg stupnja nejednolikosti definiranog izrazom  $\delta = (n_{\max} - n_{\min})/n_m$ , gdje je  $n_{\max} - n_{\min}$  nejednolikost brzine vrtnje koja nastaje uslijed pulsirajućeg momenta klipnog stroja,  $n_m = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{2}$  srednja vrijednost brzine vrtnje. Po pravilu  $\delta = \frac{1}{100} \dots \frac{1}{300}$ .

Sl. 8 pokazuje ovisnost stupnja nejednolikosti o faktoru impulsa  $f_1 = i \cdot n$  (i je koeficijent ovisan o broju taktova i broju cilindara stroja: za četverotaktne motore je između 0,5 za jednocilindarske i 4 za osmerocilindarske strojeve. Osovinski sklop mora biti izračunat tako da faktor impulsa ne pada u područje vlastitih titraja osovine, jer bi to moglo izazvati lom osovine generatora. Za izračunavanje potrebno je poznavati snagu, brzinu vrtnje, broj cilindara, broj taktova, zamašne mase i stupanj nejednolikosti pogonskog stroja. Pogonski strojevi moraju imati odgovarajuće regulatore brzine vrtnje, da bi na cijelom području opterećenja radne karakteristike stroja bile jednolike.

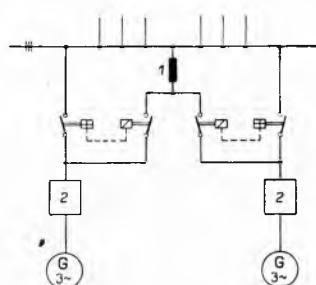


Sl. 8. Stupanj nejednolikosti u ovisnosti o faktoru impulsa klipnih strojeva

U kaveznim motorima brodskih palubnih strojeva nastaju prilikom krcanja tereta snažne oscilacije struje, koje uzrokuju veoma promjenljiva opterećenja generatora, a time i pogonskih strojeva. Ispravnu podjelu aktivne snage između generatora u paralelnom radu osigurava regulator brzine vrtnje pogonskog stroja, a reaktivnu snagu osigurava sistem uzbude. S nekim vrstama samouzbudnih kompaundnih generatora stabilna podjela reaktivne snage postiže se povezivanjem uzbude (sl. 9). Na brodovima synchronizacija se izvodi obično u tamnom, a rjede u svjetlom spoju. U novije vrijeme ugrađuju se i uređaji za tzv. grubu synchronizaciju pomoću prigušnice. Generator koji treba synchronizirati priključuje se na mrežu najprije preko prigušnice (sl. 10), pa uklapanjem ne-synchroniziranog generatora putem ovakvog prividnog otpora dolazi do kotačenja generatora ako mu je brzina vrtnje prevelika ili do motorskog ubrzavanja ako mu je brzina vrtnje premalena.



Sl. 9. Shematski prikaz spoja dvaju generatora u paralelnom radu



Sl. 10. Gruba synchronizacija pomoću prigušnice. 1 prigušnica, 2 uzbudni sklop

Ovisno o dimenziji prigušnice generator se zanjiše u synchronizaciju u kratkom vremenu. Čak i kod razlike od  $\sim 4$  Hz moguće je synchronizirati generator za manje od 5 sek. Sl. 11 pokazuje takav proces synchronizacije.

Osovinski generatori pokreću se pomoću klinastog remenja ili zupčanog prenosa direktno s osovine propelera. Rade ekonomično jer se služe energijom glavnog stroja, koji ima bolji stupanj djelovanja nego bi imao manji pomoći stroj, a i troškovi održavanja su manji. Osovinski generatori se mogu upotrebljavati samo za vrijeme vožnje pa zbog toga u istosmjernim mrežnim sistemima obično rade u tamponskom spoju s akumulatorskom baterijom. Prije manevriranja ili prekretanja stavlja se u pogon

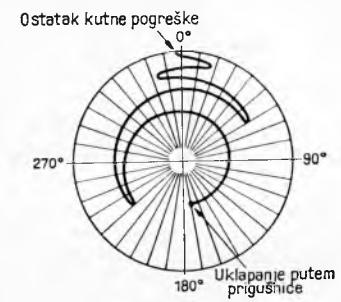
dodatni dizel-generator ili se upotrebljava energija akumulatorske baterije. Osovinski generator mora davati uz svaku brzinu vrtnje osovine nazivnu snagu i konstantan napon. Zbog toga se u istosmjernim sistemima ne upotrebljavaju kompaundirani generatori, koji po pravilu mogu biti podesni kompaundirani samo za određeno protjecanje u posrednom i serijskom namotu uzbude i za određenu brzinu vrtnje. Najčešće se upotrebljavaju samouzbudni poredni generatori kojima napon pada približno proporcionalno s kvadratom brzine vrtnje, ili generatori s odvojenom uzbudom kojima napon pada linearno s padom brzine vrtnje. Za održavanje napona upotrebljavaju se svi poznati sistemi regulatora koji se mogu primijeniti na brodu.

Trofazni osovinski generatori, budući da im se mijenja brzina vrtnje a time i frekvencija proizvedenog napona, moraju biti dimenzionirani tako da im je omjer napona i frekvencije konstantan, kako bi svi induksijski motori pomoćnih pogona radili bez opasnosti da se pregrijaju. Karakteristike pogonjenih strojeva (kompressora, pumpa, ventilatora) opadaju linearno ili čak s trećom potencijom brzine vrtnje, pa nema opasnosti da se motor pregrijije iako je hlađenje slabije. Uredaji osjetljivi na konstantni napon (npr. sijalice) mogu se napajati putem zakretnog transformatora koji je, ovisno o promjeni brzine vrtnje, zakretan npr. od uljnog regulatora (sl. 12).

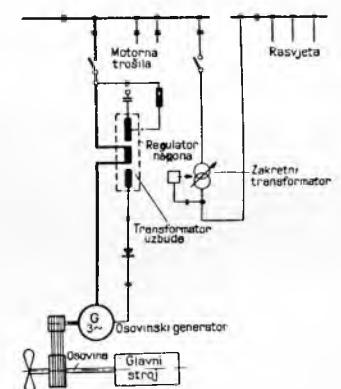
Na brodovima s trofaznom mrežom već su izvedene i instalacije s prenosnikom koji osigurava konstantnu brzinu vrtnje osovinskog generatora, čime se postiže konstantna frekvencija.

**Pretvarači, ispravljači i transformatori.** Rotirajući pretvarači primjenjuju se na brodu za napajanje signalnih i dojavnih uređaja (50 V, 50 Hz), radio-stанице (220 V, 50 ili 60 Hz), giro-kompasa (220 V, 330 Hz), dubinomjera (istosmjerni ili izmjenični napon 110 ili 220 V), reflektora sa lučnim svjetлом, agregata za zavarivanje i uređaja za održavanje konstantnog napona. Pretvarači su najčešće kombinacija od 2 ili više električkih strojeva koji kao motor-generatori služe u trofaznim sistemima za dobivanje istosmjernih napona ili trofaznih drugih frekvencija, a u istosmjernim sistemima za ekonomičnije dobivanje različitih napona ili za dobivanje jednofaznih ili trofaznih napona određene frekvencije. Jednoarmaturni pretvarači se ne primjenjuju na brodu jer nije dozvoljena galvanska veza različitih mrežnih sistema, odnosno istosmjernog i izmjeničnog sistema. Stepen djelovanja rotirajućih pretvarača je relativno nizak jer je jednak produktu pojedinačnih stepena djelovanja strojeva od kojih je sastavljen pretvarač.

U novije vrijeme upotrebu pretvarača u izmjeničnim mrežnim sistemima potiskuju znatno prikladniji i ekonomičniji *suhi ispravljači*. To su obično silicijski ispravljači u trofaznom ili jednofaznom Graetzovom spoju. Njihova je odlika da imaju izvanredne zaporne karakteristike napona, vrlo visok stepen djelovanja (iznad 99,6%), konstantne radne karakteristike u velikom rasponu temperaturu (od +140 do -40 °C), a otporni su prema mehaničkim udarcima i vibracijama. Danas se mogu dobiti uz vrlo povoljne cijene diode koje imaju zaporni napon od 1800 V i više. S druge strane, zbog malih gubitaka dimenzije dioda, a time i kompletnih ispravljača, vrlo su male i podesne za ugradnju na brodu. Takvi ispravljači primjenjuju se prvenstveno za napajanje uzbude generatora, uzbude kliznih spojki, propulzijskih motora, elektromagneti-



Sl. 11. Proces synchronizacije pomoću prigušnice

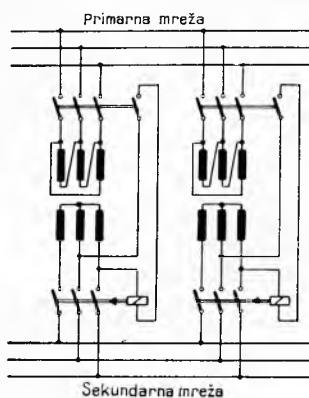


Sl. 12. Shema spoja trofaznog osovinskog generatora

skih kočnica, vitlenih motora, uređaja za punjenje akumulatorskih baterija itd. Mogu se ugraditi i velike baterije s paralelno spojenim diodama odgovarajuće strujne propusne snage. Paralelno spojene diode moraju imati paralelno spojene otpornike radi jednolične podjele napona narinutog seriji dioda.

*Energetski transformatori* se upotrebljavaju za napajanje većih potrošača koji zahtijevaju niži napon. Propisi nekih klasifikacionih društava ne dozvoljavaju za sekundarne potrošače upotrebu napona prema trupu broda većeg od 150 V. Standardni naponi za rasvjetu, grijanje i jednofazne potrošače (v. tabl. 1) gotovo se redovito dobivaju transformacijom.

Smanjenje nesimetričnih opterećenja i odgovarajući dozvoljeni napon prema masi postižu se prvenstveno s pomoću transformatora primarno spojenih u trokut, a sekundarno u zvezdu. Tako se npr. za sekundarni napon od 220 V dobiva napon prema zemlji 127 V. Trofazni energetski transformatori obično se grade kao suhi sa zračnim hlađenjem, u veličinama od 1 do 100 kVA.



Sl. 13. Istodobno isklapanje primarne i sekundarne strane trofaznih brodskih transformatora u paralelnom radu

Propisi zahtijevaju i rezervni transformator. Prema američkim propisima na brodu moraju postojati četiri jednakih jednofazna transformatora, od kojih jedan služi kao rezerva. Transformatori koji rade paralelno moraju imati istu grupu spoja i isti napon kratkog spoja. Paralelno mogu raditi i transformatori nejednakih snaga, ali se ne ide iznad omjera snaga 3 : 1. Transformatori se uklapaju i isklapaju uvijek istodobno, i to sa primarne i sekundarne strane (sl. 13).

Brodsko električko postrojenje mora osigurati maksimalnu sigurnost i kontinuitet rada, jednostavnost rukovanja i uzdržavanja, jednostavno prilagođivanje različitim vrstama opterećenja, a težina postrojenja treba da je što manja. U pogledu izbora napona i sistema razvoda postrojenje mora odgovarati zahtjevima brodovlasnika i namjeni, pa se razlikuju uredaji za ratne brodove, velike putničke brodove, velike trgovачke brodove i tankere, srednje i male trgovачke brodove i brodove za različite specijalne namjene.

Na velikim ratnim i putničkim brodovima, zbog izvanredno velikih struja opterećenja, struja kratkog spoja i vršnih vrijednosti udara struje kratkog spoja, moraju se izvori električne energije razbiti u dvije ili više nezavisnih elektrana, a odgovarajućim blokiranjem onemogućiti istodobni paralelni rad prevelikog broja generatora na jednoj sabirnici. Propisi klasifikacionih društava i konvencija za zaštitu ljudskih života na moru zahtijevaju na putničkim brodovima ugradnju posebne elektrane za nuždu, koja mora biti smještena u nadgradu a sastoji se od posebne akumulatorske baterije ili od dizel-generatora s nezavisnim, obično automatskim pokretanjem.

Tablica 6

SHEME I POGONSKE KARAKTERISTIKE GLAVNIH TIPOVA ELEKTROMOTORA KOJI SE PRIMJENJUJU NA BRODU

Vrst motora	Trofazni motor s kaveznim rotorom	Trofazni motor sa rotorom s kliznim kolutima	Istosmerni poredni motor	Istosmerni serijski motor	Univerzalni motor za istosmernu ili izmjeničnu struju
Spojna shema					
Karakteristike					
Pokretanje	a direktni uklop b pokretanje zvijezda-trokut c transformator za pokretanje d posebne metode	Otpornicima za pokretanje u rotorskom strujnom krugu	Preko otpornika u rotoru	Preko otpornika u rotoru	Direktni uklop
Regulacija	Nije moguća 2-4 stupnja broja okretaja promjenom broja polova	Pomoću otpornika rotora (poredna svojstva se gube) Regulacija u praznom hodu nije moguća. Područje maksimalno 1 : 3	Maksimalno 1 : 4-1 : 5 a slabljenjem polja preko otpornika b preko otpornika rotora (poredna svojstva se gube)	a Slabljenje preko porednog otpora ili odvojaka b preko otpornika u glavnom strujnom krugu	1 : 2,2 preko predotpora uz gubitke
Zaletni moment	0,7-3 $M_n$ prema vrsti rotora i veličini motora	$\sim 2-3 M_n$ maksim. = prekretni moment prema odabiranju otpornika rotora	Do $2 M_n$ , ovisi o projektiranju stroja	Do $2 M_n$ , ovisi o projektiranju stroja	$\sim 2-3 M_n$
Zaletna struja	$2,7-7 I_n$ prema vrsti rotora i veličini motora	Prema dimenzioniranju otpornika rotora. Kod maksimalnog $M_d$ , = prekretni moment, $\sim 3,5 I_n$	Do $2 I_n$ , ovisi o projektiranju stroja	Do $2 I_n$ , ovisi o projektiranju stroja	$\sim 3-4 I_n$
Izvedba do	Nekoliko MW	Nekoliko MW	Granična snaga je ovisna o broju okretaja; do nekoliko MW	Granična snaga ovisna je o broju okretaja; do nekoliko stotina kW	Do $\sim 400-500$ W
Nazivni napon	Do $\sim 1,5$ kV ovisno o veličini	Do $\sim 1,5$ kV, ovisno o veličini	Maksimalno 1,2-1,5 kV	Maksimalno 1,2-1,5 kV	Do 220 V
Promjena smjera vrtnje	Zamjenom dvaju priključaka na mreži	Zamjenom dvaju priključaka na mreži	Zamjenom a priključaka armature b priključaka polja	Zamjenom a 2 priključka armature b 2 priključka polja	Normalno nije uobičajeno
Električko kočenje	a protuspojno kočenje b kočenje istosmernom strujom c posebne metode kočenja	a protuspojno kočenje b kočenje istosmernom strujom c posebne metode kočenja	a protuspojno kočenje b kratko spajanje armature	a protuspojno kočenje b kratko spajanje armature	Nije uobičajeno

### POTROŠAČI ELEKTRIČKE ENERGIJE NA BRODU

Na trgovackim brodovima srednjih veličina  $\sim 80\%$  potrošnje električne energije otpada na elektromotorne pogone pomoćnih strojeva i na pogon gospodarskih uređaja; za grijanje i hlađenje se troši  $15\%$ , za rasvjetu  $3\ldots4\%$ , a za službu veze svega  $1\ldots2\%$ . Na putničkim brodovima veće tonaze (24 000 BRT) otpada  $\sim 75\%$  na pogone,  $12\%$  na grijanje i hlađenje,  $11\%$  na rasvjetu, a  $2\%$  na službu veze.

Strojevi s elektromotornim pogonom mogu se podijeliti u dvije glavne grupe: strojeve sa praktički konstantnim protumomentom i snagom koja raste proporcionalno s brzinom vrtnje (vitla, klipne pumpe i kompresori koji rade protiv konstantnog pritiska, zupčane pumpe itd.) i strojeve čiji protumoment raste s kvadratom brzine vrtnje a snaga s trećom potencijom (centrifugalne, vijčane i propelerne pumpe, centrifugalni ventilatori, itd.). Već prema karakteristici pogonjenog stroja, sistemu mreže i namjeni, upotrebljavaju se elektromotori kojima izvedba mora odgovarati uvjetima rada na brodu i koji, u prvom redu, u čitavom području primjene, za vrijeme zaleta ili prema vrsti pogona, imaju stalni višak momenta ubrzanja ili odgovarajući moment kočenja. U nekim pogonima, osobito trofaznog sistema, dolazi do naročito velikog broja zaleta i kočenja ili do dugotrajnog zaleta, pa je za ispravno dimenzioniranje motora potrebno znati karakteristike momenta motora, svih zamašnih masa motora i pogonjenog stroja, i stepen djelovanja čitavog sistema. Za strojeve sa velikim brojem operacija potrebno je naročito razmatrati granične termičke kapacitete stroja, koji ovise o konstanti ubrzanja karakterističnoj za svaki stroj, a kojom se određuje dozvoljeni broj uklapanja na sat pri zaletu na određenu brzinu vrtnje. Konstanta ubrzanja dobiva se iz formule

$$K_u = z G D^2.$$

Ova se konstanta odredi tako da se najprije izračuna količina topline koju motor može odvoditi na sat uz zagrijanje namota do dopuštene nadtemperatu, zatim se izračunaju gubici jednog zaleta zamašne mase do određene brzine vrtnje. Iz omjera tih dvaju rezultata dobiva se broj dozvoljenih zaleta na sat ( $z$ ). U tablici 6 prikazane su karakteristike elektromotora koji se najčešće primjenjuju na brodu.

Trofazni pogon za sve brodske električne uređaje uveden je tek razmjerno nedavno. Izmjenični a naročito trofazni elektromotori imaju znatno jednostavnije uklopne uređaje, a kavezni motori ne trebaju pokretače. Osim toga trofazni motori manjih su dimenzija i manje težine, a zbog viših napona imaju priključne kable manjeg presjeka. Uvođenje izmjeničnog sistema ukloilo je i teškoće što ih je imala za istosmjernog sistema brodska radionica uslijed toga što se strojevi one vrste koju ona upotrebljava proizvode u većem broju redovito s ugradenim malim trofaznim motorima.

**Pogon brodskih pumpi.** Ranije su se mnogo upotrebljavale klipne pumpe, ali zbog malene brzine vrtnje i zbog pogonskih i konstruktivnih razloga danas se sve više zamjenjuju centrifugalnim, vijčanim ili zupčanim pumpama koje imaju pogon brzohodnim elektromotorima. Brodske pumpe imaju gotovo redovito vertikalnu

osovinu koju pokreće vertikalni motor (sl. 14). Na taj način se smanjuje potrebna tlocrta površina i bolje se može povezati pumpa s cijevnim vodovima i kabelima.

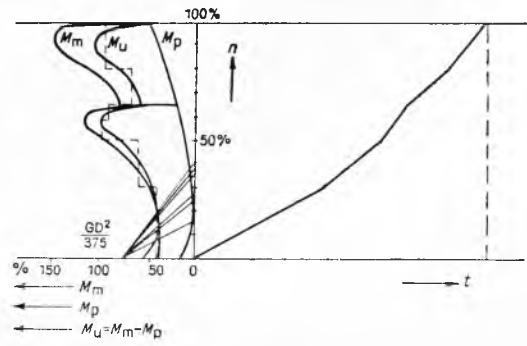
Pokretanje centrifugalnih pumpi je jednostavno jer im protumoment raste s kvadratom brzine vrtnje, tako da se mogu upotrebljavati jednostavnii kavezni indukcijski motori s direktnim uklapanjem, dok se u istosmjernom sistemu mora primijeniti motor s pokretačem koji ima mali broj stepena pokretanja. Dobava pumpe se smanjuje najčešće prigušivanjem pomoću ventila, a ukoliko je ekonomski opravdano, za dvije dobavne količine upotrebljavaju se dvobrzinski motori s omjerom brzine vrtnje 2:3. Ako je sistem istosmjeren, upotrebljavaju se motori s odgovarajućim brojem stepena regulacije brzine vrtnje. Pumpe se najčešće pokreću daljinski tipkalom i sklopnikom, a manje pumpe i pomoću automatskog zaštitnog prekidača.

Istosmjerni motori pokreću se odgovarajućim pokretačem. Neke pumpe stavljuju se u pogon automatski, npr. ovisno o nivou tekućine u tankovima ili o tlaku u spremnicima (sl. 15).

Prečistači ulja, koji rade s velikom brzinom vrtnje, imaju dugo vrijeme zaleta, a ako je ulje gusto, pri pokretanju moraju savladati relativno veliki protumoment. Stoga zaštitni uređaji motora moraju biti dimenzionirani tako da omogućuju ispravan zalet prečistača

i u slučaju najtežih vrsta ulja, što se obično postiže privremenim blokiranjem zaštite za vrijeme zaleta. Kabeli za napajanje ovakvih potrošača imaju nešto veći presjek. Pokretač pogonskog motora separatora lakog goriva treba da se nalazi što dalje od stroja, kako ne bi eventualno izazvao požar. Uredaj za otkrivanje požara često služi i za automatsko zaustavljanje motora.

Veći kavezni indukcijski motori pokreću se pomoću preklopke zvijezda-trokut ili pomoću transformatora za pokretanje. Upotrebljavaju se i dvobrzinski motori s automatskim uređajem za preklapanje polova kad motor postigne odgovarajuću nižu brzinu. U modernim brodskim instalacijama teretnih brodova, pa i za pogon velikih pumpi za krcanje tereta na tankerima, primjenjuju se i motori s direktnim uklapanjem ako brodska mreža napajaju pogodno dimenzionirani samouzbudni kompaundni generatori. Dobri pogonski rezultati s takvim instalacijama postignuti su i kad su motori imali relativno vrlo velike snage. Struja zaleta ovakvih motora može znatno prelaziti nazivnu struju motora (i do 215%), pa treba brižljivo odabrati zaletne karakteristike i odrediti vrijeme zaleta. To se najjednostavnije postiže grafički. U sl. 16 lijevo su



Sl. 16. Određivanje zaleta električkog motora pumpi grafičkom integracijom

prikazane karakteristike motora  $M_m$  i pumpe  $M_p$  i karakteristika  $M_u$  koja predstavlja raspoloživi moment ubrzanja. Krivulja  $M_u$  zamijeni se stepenastom linijom čiji dijelovi predočuju približno konstantan moment ubrzanja. Za svaki dio vrijedi odnos

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{M_u \cdot 375}{GD^2}$$

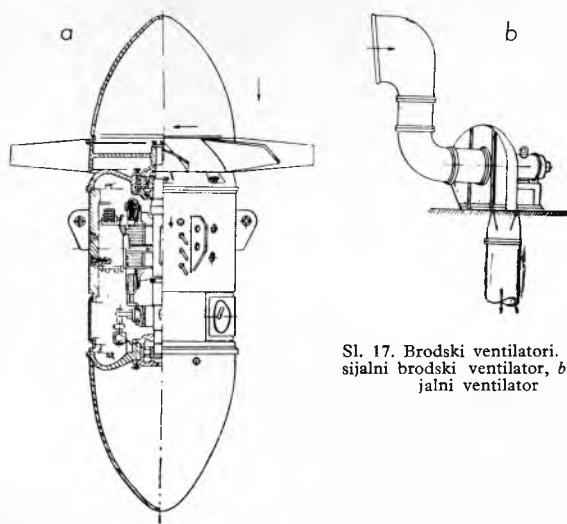
Sl. 14. Pumpe s vertikalnom osovinom u brodskoj strojarnici



(v. jednadžbu str. 509;  $n$  u  $\text{min}^{-1}$ ,  $g$  u  $\text{m/sec}^2$ ,  $375 = 2g \cdot 60/\pi$ ). Na osi apscisā se nanese tačka  $GD^2/375$  u pogodnom mjerilu a na osi ordinata odgovarajuće vrijednosti  $M_u$ , koje se pravcima spoje sa tačkom  $GD^2/375$ . Polazeći od tačke  $O$ , s tim spojnim pravcima se povuku paralele do odgovarajuće visine iznad osi apscisa, tj. dok ne bi sjekle produženje odgovarajućeg horizontalnog dijela stepenaste linije. Te paralele predstavljaju hipotenuze pravokutnih trokuta čije su katete  $\Delta n$  i  $\Delta t$ . Kako je  $\Delta n$  poznat, tom se konstrukcijom dobiva odgovarajuća vrijednost  $\Delta t$ . Suma svih  $\Delta t$ , tj. odrezak na osi apscisā do njezina sječišta sa crtkom okomicom, predstavlja ukupno vrijeme zaleta  $t_z$ .

**Pogon ventilacijskih i rashladnih uređaja.** Ventilacijski i rashladni uređaji predstavljaju uz pumpe najveće potrošače električne energije na brodu. Već prema vrsti broda i prostorija, često treba ugradivati vrlo snažne ventilatore za provjetravanje, osobito na brodovima koji plove u tropskim krajevima. U posljednje vrijeme na brodove se sve češće ugrađuju klimatizacijski uređaji koji u tropskim krajevima rashladjuju, a u polarnim griju prostorije. Nadalje, na modernim teretnim brodovima sve se više prirodna ventilacija skladišta tereta zamjenjuje umjetnom, jer se time ujedno može spriječiti kondenziranje vlage u sklađišnom prostoru (v. Brod, Oprema, str. 296).

Pogoni ovih uređaja moraju biti tiki. Pri većim brzinama strujanja zraka nastaju šumovi koji se šire brodom i mogu izazvati rezonantne pojave. Da se to izbjegne, ugrađuju se veći radikalni i aksijalni ventilatori s relativno manjom brzinom vrtnje. Radikalne ventilatore normalno pogone motori s horizontalnom osovinom, a za pogon aksijalnih ventilatora, naročito cijevnih ventilatora, izrađuju se specijalni motori s kućištem u obliku kapljice (sl. 17).



Sl. 17. Brodski ventilatori. a) aksijalni brodski ventilator, b) radikalni ventilator

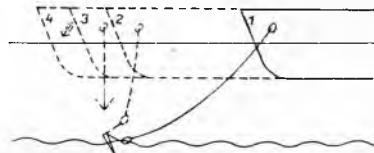
Ukoliko se radikalni ventilatori postavljaju na palubu, za pogon služe motori s površinskim hlađenjem. Aksijalni ventilatori upotrebljavaju se za veće dobavne količine zraka i podesniji su za ugradnju u brod od radikalnih ventilatora.

Kao svim centrifugalnim strojevima, tako i ventilatoru protumoment raste s kvadratom brzine vrtnje. Iako je za pokretanje potreban mali potezni moment, ipak zalet može trajati dugo, osobito ako ventilator ima težak rotor i pogonski motor manje snage, pa mogu nastati slične poteškoće kao sa prečistačem ulja. Ako se zahtijevaju različite dobavne količine zraka, treba da postoji mogućnost promjene brzine vrtnje ventilatora. S istosmjernim motorima se to jednostavno postiže promjenom uzbude, a u trofaznom sistemu upotreboom polno prekloppljivih motora, i to obično za dvije različite brzine. Manja brzina daje manju dobavnu količinu dovoljnu za hladniju klimu, a veća brzina služi za dobavu u tropima. Moguće je i gušenje protoka zraka mehaničkim putem, ali to može izazvati nepoželjne šumove. Na svim brodovima, a naročito na putničkim, mora postojati mogućnost da se u slučaju požara isključe, bilo ručno ili automatski, svi ventilatori nekog ugroženog prostora. Ručno je isključivanje pri tom mogućno sa više mesta na brodu.

### Pogoni brodskih palubnih strojeva.

U ovu grupu ubrajaju se pogoni brodskih vitala (sidrenih, teretnih, priteznih, vlačnih itd.) i kormilarskih uređaja. Ti pogoni redovito predstavljaju složena tehnička rješenja koja moraju odgovoriti vrlo različitim uvjetima i specifičnom režimu rada. Od palubnih strojeva radi za vrijeme vožnje redovito samo kormilarski stroj, a ostali palubni strojevi rade ili za vrijeme manevra pristajanja ili za vrijeme krcanja tereta. Od palubnih strojeva među bitne potrošače ubrajaju se jedino sidreno vitlo i kormilarski uređaj.

**Električki pogon sidrenih vitala.** Sidrena vitla obavljaju nekoliko operacija koje su po režimu motornog pogona različite. Kad se izvlači sidro usidrenog broda, nastaju različita opterećenja



Sl. 18. Izvlačenje sidra

pri privlačenju broda sidru, pri čupanju sidra iz dna, pri podizanju sidra i pri uvlačenju u sidreno ždrjelo (sl. 18). Pri privlačenju su sile u lancu različite, ovisno o početnom položaju broda, snazi i smjeru vjetra koji djeluje na nadvodni dio broda, kao i o snazi i smjeru morske struje koja djeluje na podvodni dio trupa. Pošto je brod privučen, sila potrebna da se sidro isčupa iz dna ovisi o dubini vode i vrsti morskog dna. To je faza maksimalnog opterećenja motora vitla. Pošto je sidro isčupano i brod oslobođen, nastavlja se dizanje sidra, pri čemu potrebn moment opada sa smanjivanjem duljine lana. Propisima je utvrđeno da srednja brzina podizanja sidra mora iznositi  $8\text{--}12 \text{ m/min}$ . Pošto je sidro podignuto iznad vode, treba ga uvući u sidreno oko. Ova je operacija delikatna i spora zbog opasnosti da sidro ošteti oplatu. Ponakad je potrebno da se sidreni lanac sa sidrom zakrene, pa mora postojati mogućnost da se sidro spušta i diže sve dok ne dode u odgovarajući položaj, tj. ova operacija zahtijeva reverziranje vitla, a time i motora, ali to ne otežava uvjete pogona. Sidreno vitlo često služi i za pritezanje pramca broda prilikom vezanja broda uz obalu, pa pogon mora odgovarati i za tu svrhu.

Propisi zahtijevaju da motor sidrenog vitla razvija snagu potrebnu za podizanje jednog sidra iz dubine od 100 m utvrđenom srednjom brzinom kroz 30 min bez prekida, da za čupanje sidra razvija potrebnu snagu kroz 5 min, a pri pritezanju broda motor da kroz 10 min razvija potrebnu snagu uz maksimalni napon u užetu, koji je  $\sim 2,4$  puta veći od nominalnog napona i uz brzinu od  $6 \text{ m/min}$ . Za prikupljanje rasterećenog užeta zahtijeva se brzina od  $30 \text{ m/min}$ .

U istosmjernim sistemima brzina motora sidrenog vitla regulira se po pravilu promjenom struje armature. Za podizanje ili spuštanje sidra služi simetrično uklapanje, a najmanja brzina predviđena je za uvlačenje sidra u ždrjelo. Motor se izvodi s porednim i serijskim namotom, što omogućava odgovarajuće veće brzine vrtnje potrebne za pritezanje. Da se spriječi eventualni bijeg motora uslijed pogrešnog rukovanja, upravljačka sklopka je blokirana tako da svaka operacija mora početi iz nultog položaja. Motor se automatski blokira i kad nestane napona u mreži. Brzina vrtnje se regulira odgovarajućim predotporima ili porednim otporima u rotorskom strujnom krugu, ili promjenom polja uzbude.

U trofaznom sistemu upotrebljavaju se kavezni polno prekloppljni motori ili kombinacije kliznokolutnih motora s odgovarajućim sistemom kočenja bilo putem posebne kočnice bilo upotreboom usmjerene struje koja dinamoelektrički koči motor. U najnovije vrijeme upotrebljavaju se najviše trobrzinski polno prekloppljni kavezni motori sa dva odvojena statorska namota i to 16/8-polni u Dahlanderovom spoju i 4-polni u spoju zvijezda. Rotor ima odgovarajući dvokavezni namot koji daje motoru potrebnu otpornu karakteristiku. Zbog montaže na palubi motori su potpuno zatvoreni i zaštićeni za slučaj da se preko njih prelijeva more. Razvijaju tri brzine od kojih najmanja služi za uvlačenje sidra u sidreno ždrjelo ili za lagano pritezanje broda, srednja brzina za dizanje i čupanje sidra i za pritezanje broda, a najveća brzina samo za

prikupljanje rasterećenog priveznog užeta. Ti motori razvijaju maksimalni moment na početku zaleta i nemaju izraziti prekretni moment. Za uvlačenje sidra u sidreno zdrijelo uobičajeno je ili smanjivanje napona pomoću statorskih predotpora ili spajanje 16-polnog namota u "V"-spoj. Za ovu operaciju zahtijeva se maleni potezni momenat, ne veći od nazivnog momenta druge radne brzine. Zbog opasnosti preopterećenja motori imaju obično u 4-polnom namotu ugrađenu termičku zaštitu.

Za pogon sidrenih vitala služe i posebno izrađeni Ward-Leonardovi pretvarači, a u novije vrijeme upotrebljava se i elektrohidraulički pogon. Za vrijeme dizanja ili spuštanja sidra elektromotor neprekidno radi, a pojedine operacije izvode se spregom hidrauličke pumpe i hidrauličkog motora. Za kočenje služi samo-kočni prijenos ili elektromagnetska kočnica na elektromotoru. U svakom slučaju potrebna je i dodatna ručna pojasa kočnica. Da se spriječi preopterećenje motora, ugrađena je mehanička klizna spojka koja djeluje kad moment na osovinu motora poraste iznad 1,8-struke nazivne vrijednosti.

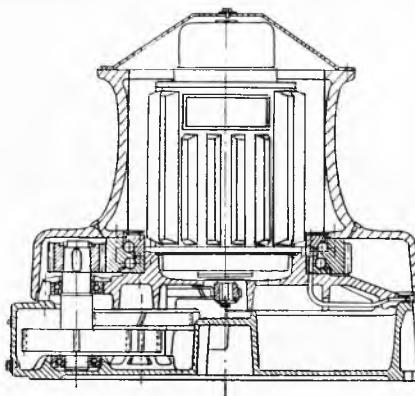
Velika vertikalna sidrena vitla za pojedinačni pogon svakog sidra imaju pogonski motor smješten u potpalublju.

**Električki pogon priteznih vitala.** Pritezna vitla mogu biti horizontalna ili vertikalna, tj. osovina i bubanj za namatanje užeta mogu imati horizontalni ili vertikalni. Horizontalnim

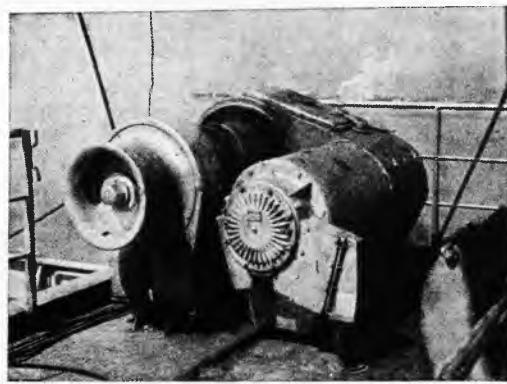
uredaji i teretna vitla s parnim pogonom zamjenjuju se prvenstveno teretnim vitlima s pogonskim elektromotorima na istosmjernu struju. Pogonski elektromotor brodskog teretnog vitla je električki uredaj koji radi valida u težim uvjetima nego ikoji drugi električki uredaj bilo na moru bilo na kopnu.

Krcanje tereta pomoću teretnog vitla i samarice sastoji se od niza operacija pri kojima se pogonskom motoru vitla stalno mijenjaju brzina, smjer vrtnje i opterećenje. Radi veće brzine krcanja tereta pogonski motor mora omogućavati najveća dozvoljena ubrzanja tereta i prazne kuke uz popratne operacije zaleta, kočenja, prekretanja i mnogostrukog ponavljanja tih operacija za vrijeme krcanja. Da se spriječe prevelika naprezanja užeta sa kukom i čitavog uredaja za krcanje, ubrzanje (odn. uspoređe) prilikom dizanja (odn. spuštanja) tereta ne smije preći 3 m/sek<sup>2</sup>.

Pri spuštanju tereta i pri zaletu gubi se energija. Kad se teret spušta, istosmjerni pogonski motor vitla djeluje kao generator pa električnu struju vraća u mrežu ili poništava u otpornicima, u slučaju pogona kolutnim motorom višak energije se poništava u otpornicima, a u polno prekloppljivom kaveznom motoru energija se akumulira kao toplina u rotoru pa motor treba hladiti. Istosmjerni motori s kombiniranim serijskim i porednim namotima mogu s odgovarajućim kombinacijama sklapanja serijskih ili porednih otpora postići vrlo povoljne radne karakteristike.



Sl. 19. Vertikalno pritezno vitlo s elektromotorom ugrađenim u bubnju



Sl. 20. Brodski trofazni polnoprekopljivi motor na teretnom vitlu (Rade Končar - Vulkan)

priteznim vitlima motor je na palubi, a motor vertikalnog pritezniog vitla može biti smješten iznad ili ispod palube. Velika vertikalna pritezna vitla imaju, radi štednje na prostoru, motor ugrađen u bubnju (sl. 19). Motor pritezognog vitla mora biti dimenzioniran tako da kroz 30 min može svladati silu u priveznom užetu, koja je obično 3,5 ili 8 MP. Brzina pritezanja električkih priteznih vitala iznosi do 12 m/min (maksimalno 16 m/min), pri čemu motor razvija nazivnu brzinu. Uz brzinu pritezanja za polovicu manju od nazivne motor mora biti kadar kroz 5 min savladavati 2,4 puta veću silu u užetu, a potpuno rasterećeno uže mora prikupljati brzinom od 30 m/min.

Uredaji za upravljanje motorom uglavnom se ne razlikuju od uredaja za sidreno vitlo. U istosmjernim sistemima pogonski motori su sa serijskim i porednim namotom uzbude, a u trofaznim sistemima upotrebljavaju se kolutni motori ili kavezni motori dvostruko ili trostruko polno prekloppljivi. Pogonski motori velikih vitala često se napajaju preko Ward-Leonard-pretvarača. Motor pritezognog vitla mora imati elektromagnetsku kočnicu koja u slučaju nestanka napona blokira rad motora.

Za prolaz brodova kroz kanale i splavnice i za tegljenje drugih brodova ili teglenica služe posebna, tzv. povlačna vitla. Ta vitla normalno imaju poseban uredaj za održavanje konstantne sile u užetu ili konstantnog momenta na bubnju vitla. Prema tome kako se mijenja sila u užetu, uredaj mijenja brzinu vrtnje motora, tj. bubanj vitla se brže ili sporije okreće, pa se vrijednost sile u užetu ne može mnogo udaljiti od zadane vrijednosti.

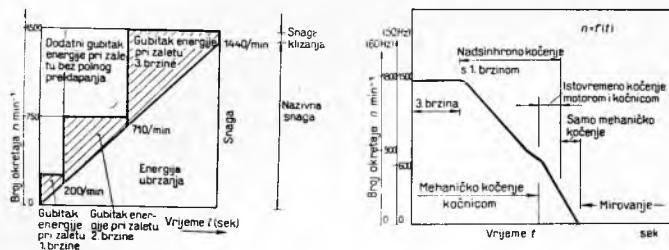
**Elektromotorni pogoni za brodska teretna vitla.** Ekonomičnost broda nastoji se povećati, osim povećanjem njegove brzine, također skraćivanjem vremena njegova zadržavanja u luci, što se postiže ubrzavanjem operacija krcanja i iskrcavanja (povećanjem "brzine broda u luci"). Prije upotrebljavani mehanički

Pri tome obično na završetku zaleta motor razvije propisanu brzinu dizanja tereta. Brzina spuštanja tereta je obično 2...2,5 puta veća, a prazne kuke 3...3,5 puta veća. Za sve ove operacije potezni moment treba da je bar 2...2,5 puta veći od nazivnog. U praksi se pokazalo da najčešće nije potrebna fina regulacija brzine normalnog teretnog vitla, već su za sve radne operacije dovoljna dva ili tri stepena brzine. Stoga je polno prekloppljivi kavezni motor vrlo prikladan za pogon teretnih vitala; jednostavan je i robustan, a ima kratko vrijeme zaleta (sl. 20). Tako se i s manjim konačnim brzinama namatanja užeta mogu postići jednakne radne karakteristike kao istosmjernim pogonskim motorom ili čak još povoljnije, uz veći broj operacija krcanja.

Veličina motora se ne određuje samo na osnovu potrebne snage, intermitencije i poteznog momenta, nego treba voditi računa i o broju potrebnih operacija u jedinici vremena i o trajanju zaleta i kočenja, tj. efikasnost motora ovisi o konstanti ubrzanja  $K_u = z G D^2$  i o vremenu zaleta  $t_z = G D^2 \cdot n/M_u$ , pri čemu je:  $z$  broj radnih operacija u jedinici vremena,  $G D^2$  zamašni moment svih pokretnih masa reduciranih na osovinu motora,  $M_u$  moment ubrzanja motora.

U trofaznim brodskim mrežama 380 V, 50 Hz ili 440 V, 60 Hz može se upotrebljavati isti motor za oba sistema budući da je odnos napona i frekvencije u oba slučaja gotovo isti. Prijelazom s 50 na 60 Hz povećava se brzina vrtnje motora za ~ 20%, što odgovara povećanju snage motora za ~ 10%. Međutim, to povećanje snage ne može se iskoristiti za pogon teretnog vitla jer se zalet i kočenje također upravljaju prema povećanoj brzini pa bi se rotor pregrijao. Stoga se mora zadržati isti ili čak nešto manji broj radnih operacija u jedinici vremena (sl. 21).

Pogon s trofaznim polno prekloppljivim motorima koristi se svim brzinama za sve vrste opterećenja. Motori su zaštićeni od

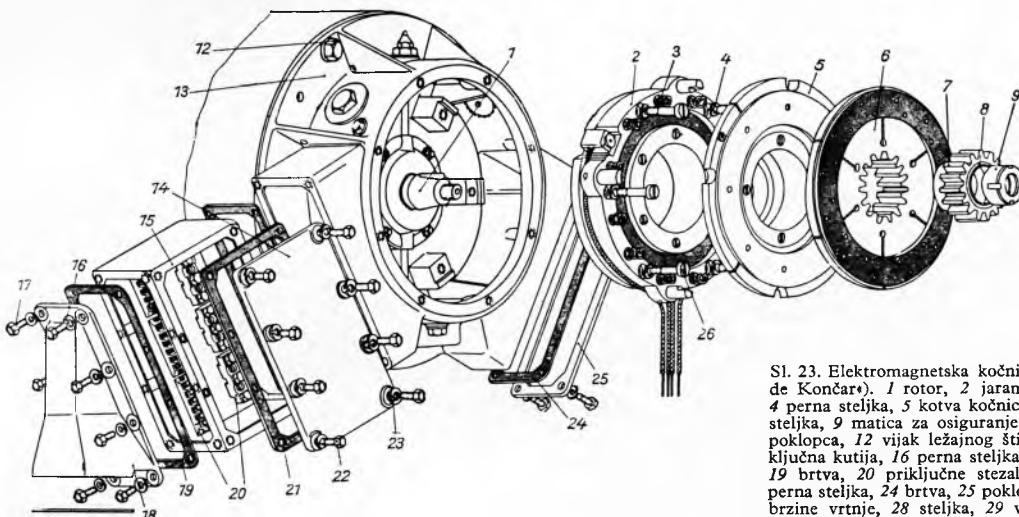


Sl. 21. Dijagram gubitaka energije kod zaleta polnopreklopivih motora

Sl. 22. Dijagram kočenja motora nadsinchronom brzinom i kočnicom u radu trobrinskog kavezognog motora teretnog vitla

preopterećenja termoelementima u glavama njihova namota. Elektromagnetska kočnica se preko ispravljača napaja istosmjernom strujom iz trifazne mreže i automatski zakoči motor kad nestane napona. U tom slučaju teret se može spustiti ručnim otpuštanjem kočnice. Opterećenje kočnice ovisi o umnošku ukupnog  $GD^2$  i kvadrata brzine vrtnje (sl. 22). Kočnica mora imati veliku termičku konstantu i visokokvalitetne tarne obloge velike površine i velike topilinske vodljivosti (sl. 23). U posljednje vrijeme ugraduju se kočnice kojima tarne obloge izdrže 2000 radnih sati vitla, što odgovara otprilike 2...3 godine rada.

Moderna brodska teretna vitla u znatnoj su mjeri automatizirana, a pripadni sklopni uredaj osigurava jednostavno posluživanje, postepeni zalet motora, kočenje i bestrajni prijelaz iz jedne na drugu brzinu vrtnje. Toplina razvijena u motoru odvodi se posebnim ventilacijskim uredajem koji je obično prigraden na motor ili na vitlo, a koji radi za vrijeme dok je vitlo u pogonu.



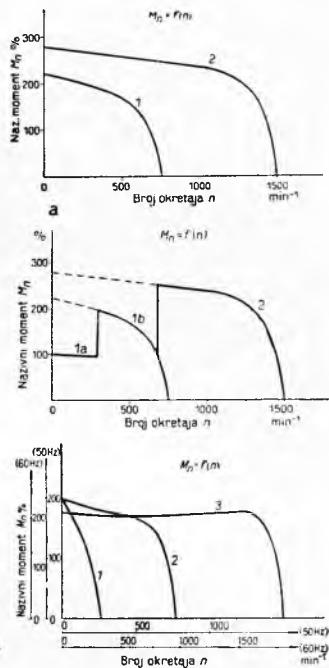
U slučaju kvara na sistemu ventilacije automatski se prekida i rad vitla.

**Elektromotorni pogoni za brodske dizalice.** Najprije u USA, zatim u nordijskim zemljama, u Sovjetskom savezu i drugdje, počele su se upotrebljavati brodske okretne dizalice za krcanje tereta. Okretna dizalica sadrži tri elektromotorna pogona: za teretno vitlo, za vitlo koje podiže krak dizalice i za vitlo koje okreće cijelu dizalicu. Za krcanje rude izrađuju se i dizalice koje se mogu kretati uzduž palube broda, tj. imaju još četvrti elektromotorni pogon i dodatni pogon za rad grabilice. Pogonski elektromotori su istosmjerni ili trifazni, a za svaku vitlo se upotrebljava jednak pogon kao za slična samostalna vitla. Tako u trifaznom sistemu za pogon teretnog vitla služe dvobrzinski ili trobrinski kavezni motori koji se inače ugradjuju na normalnu teretnu vitlu. Pogon vitla za krak je pomoću dvobrzinskog polno preklopljivog motora; taj motor mora savladati protumomente čija se veličina mijenja u ovisnosti o položaju kraka. Maksimalni protumoment nastaje kad je krak maksimalno spušten. Potezni moment motora je  $\sim 2,5$  puta veći od nazivnog. Kad se krak diže, motor je u pogonu, a kad se spušta, motor koči i radi kao generator. Za okretanje dizalice služi također dvobrzinski motor. Specifičnost ovog pogona je pokretanje velikih

zamašnih masa, tj. cijele okretne dizalice s obješenim teretom; te mase reducirane na osovinu motora višestruko prelaze zamašnu masu motora. Dizalica se mora okretati s blagim i postepenim zaletom iisto tako se mora zaustavljati, da se teret ne bi zanjihao. Sl. 24 pokazuje karakteristike motora za pogon takvih dizalica.

Pogon velikih vitala za ribarske mreže ranije je bio isključivo s pomoću parnog stroja, a posljednjih godina sve se više počinje primjenjivati elektromotorni pogon. U tu svrhu služe posebni istosmjerni elektromotori koje obično napaja dizel-generator preko modificiranog Ward-Leonardova spoja (sl. 25).

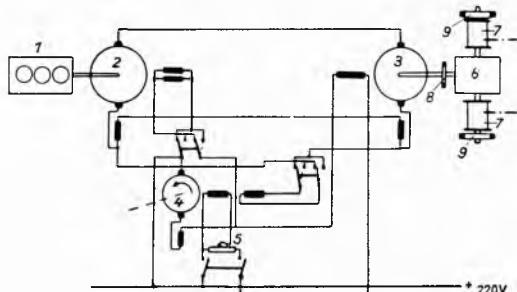
Najveća naprezanja motora nastaju prilikom povlačenja mreže. Već prema dužini užeta i brzini broda, brzina prijeznanja užeta iznosi 100...240 m/min s konstantnom silom od 2000...4000 kp. Posebni regulacijski uredaj upravlja radom



Sl. 24. Momentne linije motora za pogon trifazne brodskne okretne dizalice. a) motor dizalice za krak, b) motor za okretanje, c) motor za dizanje tereta; 1 prva brzina, 2 druga brzina, 3 treća brzina

Sl. 23. Elektromagnetska kočnica motora brodskog teretnog vitla («Rade Končar»). 1 rotor, 2 jarami kočnice s namotom, 3 spiralna pera, 4 perna steljka, 5 kotva kočnice, 6 disk s oblogama, 7 glavina, 8 perna steljka, 9 matica za osiguranje glavine, 10 distancijski prsten, 11 vijak poklopca, 12 vijak ležajnog štita, 13 ležajni štit, 14 poklopac, 15 priključna kutija, 16 perna steljka, 17 šestobridni vijak, 18 uvodni lijevak, 19 brtva, 20 priključne steljke, 21 brtva, 22 šestobridni vijak, 23 perna steljka, 24 brtva, 25 poklopac, 26 vijak jarma, 27 vijak za mjerjenje brzine vrtnje, 28 steljka, 29 vijak za otkočenje, 30 poklopac kočnice

motora tako da motor tokom čitave operacije razvija približno konstantnu snagu bez obzira na promjene opterećenja izazvane vanjskim uzrocima. Ako mreža zapne za dno, sila u užetu ne smije preći dvostruku normalnu vrijednost, jer bi se moglo preki-



Sl. 25. Principijelna shema spoja brodskog ribarskog vitla (sistemi BBC). 1 dizel-motor, 2 generator, 3 viljeni motor, 4 dodatni regulator, 5 otpornik za podešavanje brzine vrtnje, 6 reduktor, 7 bubnjevi za namatanje užeta, 8 mehanička klizna spojka, 9 pojasnja kočnica

nuti uže mreže. Da bi se postigla takva karakteristika momenta, serijski namot motora je obilno dimenzioniran, a posebni dodatni generator za upravljanje ima serijski namot u protuspoju. Budući da motor vitla ima serijski namot, da bi se promijenio smjer vrtnje potrebno je prekretati smjer struje, pa je stoga u rotorskem strujnom krugu ugrađena polna preklopka. Snaga elektromotora za ovakve pogone obično je od 70 do 300 KS.

**Pogon kormilarskih uređaja.** Postoje vrlo različiti tipovi modernih kormilarskih uređaja, ali svima je zajedničko da se u većoj ili manjoj mjeri koriste električkom energijom. Električka energija može služiti za prijenos komandi iz kormilarnice do kormilarskog stroja, električki servomotori su sastavni dio hidrauličkog sistema za upravljanje kormilarskim strojem, sam kormilarski stroj može biti pogonjen elektromotorom, električki uređaji služe za automatsko kormilarenje, itd.

S obzirom na to da je kormilarski uređaj od vitalne važnosti za sigurnost plovidbe broda, i električki uređaji koji služe kormilarenju moraju biti naročito pouzdani, a njihova opskrba električkom energijom mora biti u svakom slučaju osigurana. Pobliže o izvedbi kormilarskih uređaja koji se u bilo kojem vidu koriste električkom energijom i o električkim uređajima za automatsko kormilarenje v. Brod, poglavljia Brodski instrumenti i specijalni uređaji i Brodski pogonski uređaji.

Za pogon propeleru aktivnog kormila (v. str. 218) ugrađuje se u kruškoliko zadebljanje kormila induksijski motor koji se napaja kroz šuplju osovinu kormila. Motor ima male dimenzije jer ne postoji opasnost da se pregrije, budući da se vrlo efikasno hlađi protočnom vodom. Poteškoću predstavlja izolacija statorskog namota, koja je obično od gume ili plastične mase a mora biti otporna prema rashladnoj vodi. Rotor je kavezni pa za njega ova poteškoća ne postoji. Na brodovima s istosmernom mrežom za napajanje aktivnog kormila mora se predvidjeti poseban pomoćni dizel-generator ili pretvarač pogodne snage.

#### SISTEMI RAZDIOBE ELEKTRIČKE ENERGIJE

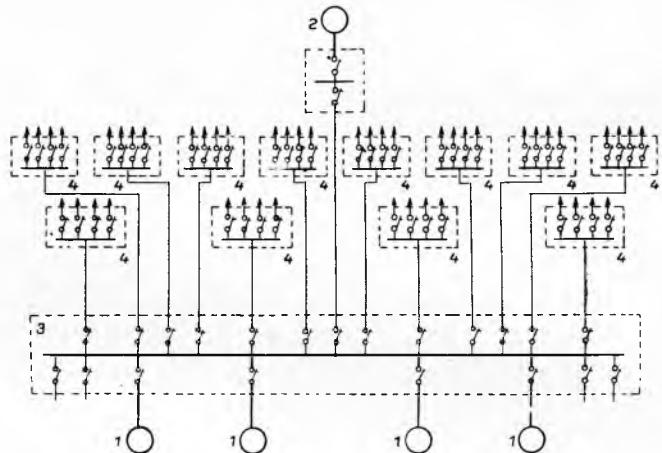
*Istosmjernih brodskih sistema* razdiobe električke energije ima uglavnom tri: 1) sistem s povratnim vodom preko trupa broda: izolirani vodovi spojeni su na jedan pol izvora energije, a brodski trup ili neki drugi trajno uzemljeni dispozitiv služi kao veza s drugim polom; 2) dvovodni istosmjerni sistem, sa dva izolirana voda na koje je priključen potrošač; 3) trovodni istosmjerni sistem, koji ima dva izolirana voda (krajnja), a umjesto trećeg (srednjeg) služi trup broda. Napon se upotrebljava između dva krajnja voda ili između krajnjeg i srednjeg voda, tako da srednji vod (brodski trup) provodi samo razliku struje. Na trgovackim brodovima se ugrađuju svi ovi sistemi, samo je za tankere zabranjena upotreba brodskog trupa kao voda. Isto tako brodski trup se ne može upotrijebiti kao povratni vod na putničkim brodovima.

Od *izmjeničnih sistema* uobičajeni su ovi: 1) sistem s povratnim vodom preko trupa broda slično kao i u istosmernom sistemu; 2) dvovodni sistem izoliranih vodova između kojih se napajaju potrošači; 3) trovodni sistem sa neutralnim vodom, pri čemu se potrošači mogu napajati bilo između dva voda ili između jednog izoliranog voda i neutralnog voda; 4) trofazni trovodni sistem sa tri izolirane faze; 5) trofazni četverovodni sistem s tri izolirane faze i nul-vodom koji je priključen na zvjezdasti izvora. U izmjeničnim sistemima razlikuje se primarna razdioba s potrošačima priključenim direktno na napon generatora i sekundarna razdioba koja nema konduktivne veze s generatorom, a dobiva napon bilo putem dvonamotnog transformatora ili iz motor-generatora.

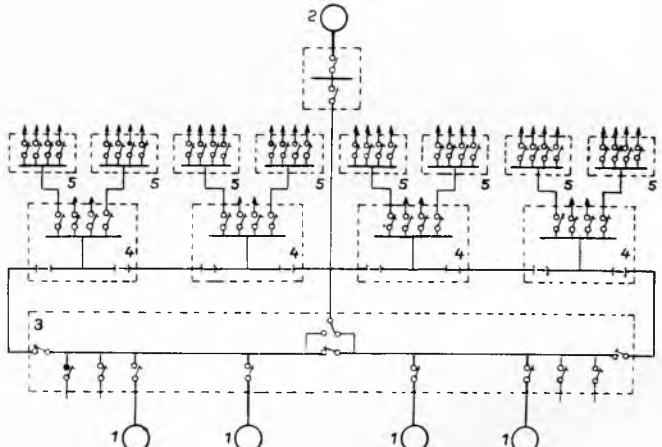
*Brodske razvodni uređaji*, za razliku od kopnenih, klasificiraju se u prvom redu prema važnosti snabdijevanja potrošača, tj. prema tome da li napajaju potrošače koji su bitni ili manje bitni za pogon i sigurnost broda. Zadatak je razdiobe da u slučaju nužde eliminira djelomično ili potpuno nebitne potrošače i održi pogon broda pod svaku cijenu. Osim toga u slučaju kvara zaštitni aparati moraju u najkraćem mogućem vremenu izolirati dio mreže na kojem se pojavio kvar.

*Brodske mreže* mogu biti: zrakaste ili radikalne (sl. 26), zamaste zatvorene (sl. 27), zamaste nezatvorene i zrakaste s međuvezama primarnih razdjelnika (sl. 28). Najčešće se primjenjuje zrakasta mreža, koja, međutim, ne može osigurati veći kontinuitet napaja-

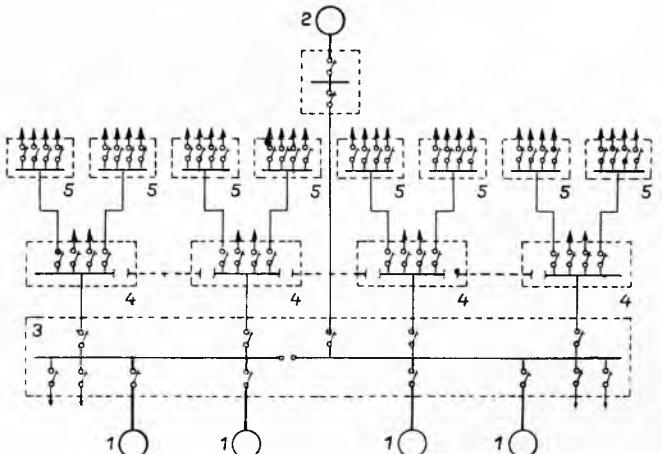
nja. Eventualni kvar na razvodnoj ploči izbacuje dio postrojenja iz pogona. Ako glavna razvodna ploča nije izvedena s podijeljenim jednostrukim sabirnicama, kvar može izbaciti iz pogona čitavo postrojenje. Zamasta zatvorena mreža omogućuje snabdijevanje i u slučaju kvara, a naročito ako je glavna razvodna ploča izvedena s podijeljenim sabirnicama. Zbog neznatnih pasivnih impedancija u ovako izvedenom postrojenju nešto su veće struje kratkog spoja. Zamastom nezatvorenom mrežom mogu se izbjegći povećane struje kratkog spoja, jer su primarni razdjelnici povezani zrakasto,



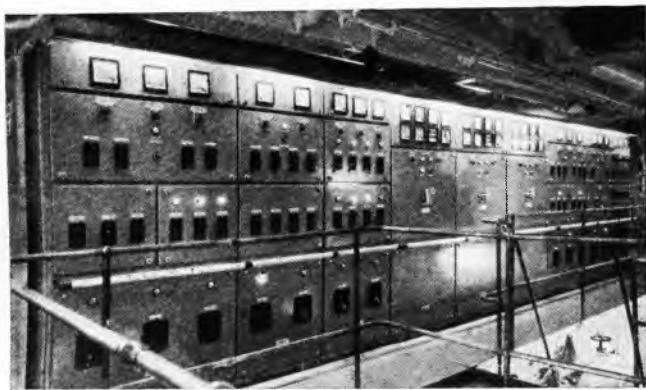
Sl. 26. Zrakasta ili radikalna mreža. 1 generatori, 2 generator za nuždu, 3 glavna razvodna ploča, 4 primarni razdjelnici



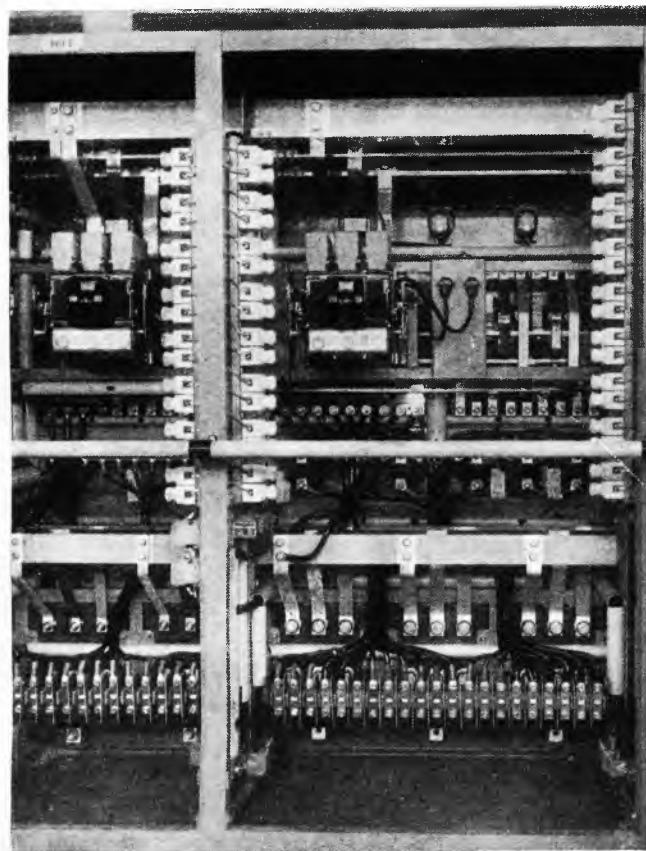
Sl. 27. Zamasta zatvorena mreža. 1 generatori, 2 generator za nuždu, 3 glavna razvodna ploča, 4 primarni razdjelnici, 5 sekundarni razdjelnici



Sl. 28. Zrakasta mreža s međuvezama primarnih razdjelnika. 1 generatori, 2 generator za nuždu, 3 glavna razvodna ploča, 4 primarni razdjelnici, 5 sekundarni razdjelnici



Sl. 29. Glavna razvodna ploča na brodu "Josef Conrad" (Rade Končar)



Sl. 30. Pogled na stražnji dio glavne razvodne ploče (Rade Končar)

a u slučaju potrebe mogu se povezati i zamkasto. Troškovi instaliranja su veći nego za zrakastu mrežu, ali je sigurnost pogona veća. Zrakasta mreža s međuvezama primarnih razdjelnika predstavlja optimalno rješenje brodske mreže. Primarni razdjelnici napajaju se direktno s glavne razvodne ploče, a predvidene su, zbog sigurnosti, veze između primarnih razdjelnika. Troškovi instalacije su minimalno povećani, a sigurnost pogona ista je kao i sa zamkastom nezatvorenom mrežom. Rasklopni uređaji dimenzionirani su kao i kod zrakaste mreže.

*Glavna razvodna ploča*, koja se već prema veličini broda može sastojati od jedne ili više ploča, služi u prvom redu za uklapanje potrebnog broja izvora električke energije na glavne sabirnice i za napajanje bitnih potrošača direktno ili putem primarnih razdjelnika. Prema tome sadrži u prvom redu generatorska polja, polja za napajanje glavnih potrošača ili primarnih razdjelnika, polje za povezivanje paralelnih sistema i polje za povezivanje nebitnih potrošača s glavnim napajanjem. Za brodsko električko postrojenje traži se da elektrana ima kao rezervu najmanje jedan od ugrađenih agregata, što omogućuje eventualno maksimalno

opterećenje iznad normalnog pogona za 50 odnosno 33%, jer normalno elektrana ima najmanje dva agregata. Uredaj za zaštitu elektrane od preopterećenja mora u slučaju preopterećenja najprije rasteretiti elektranu isključivanjem nebitnih potrošača, a ukoliko preopterećenje potraje i dalje, da nakon izvjesnog vremena isključi i ostale potrošače. U većim postrojenjima isključuje se postepeno grupa po grupa nebitnih potrošača. Potrošači bitni za navigaciju moraju imati rezervu koja se napaja na isti način posebnim vodovima. Glavna razvodna ploča predstavlja energetski centar broda, sa kojega se vrše sve bitne operacije (sl. 29 i 30).

Iza glavne razvodne ploče mora postojati dovoljno prostora za kretanje nadzornog osoblja, a za pridržavanje kod posluživanja u slučaju nemirnog mora moraju biti na prednjoj i stražnjoj strani predviđeni izolirani rukohvati. Glavna razvodna ploča mora imati vlastito osvjetljenje i na njoj treba da budu pregledno označeni oprema i spojevi.

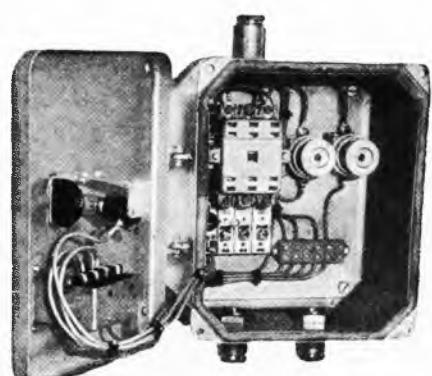
Kako kontinuitet snabdijevanja broda električkom energijom mora biti zajamčen, osobita pažnja se posvećuje *zaštitnim uredajima generatora* i to kako od preopterećenja i povratne snage tako i od kratkog spoja.

*Zaštita od preopterećenja* mora biti podešena tako da isključi generator tek u krajnjoj nuždi. Stepenovanje isključivanja nebitnih potrošača vrši se najčešće sistemom Karl Meyer. Pri tome se reducira opterećenje generatora određenim redom koji ovisi o tome da li brod plavi, manevrira ili radi u luci. Zaštita djeluje stepenasto nakon nastupa preopterećenja u periodu od  $10\cdots20$  sek. U trofaznim sistemima preopterećenje generatora ne mora ujedno značiti i preopterećenje pomoćnog stroja, jer se normalno u plovidi faktor snage kreće u granicama  $\sim 0,8\cdots0,85$ , a za vrijeme krcanja koleba između 0,5 i 0,9, ovisno o sistemima pogona uredaja za krcanje.

Generatori imaju *zaštitu od povratne snage* zaštitnim prekidačem koji isključuje generator ako povratna snaga prede unaprijed određenu dozvoljenu vrijednost. Propisi klasifikacionih društava određuju veličinu dozvoljenih povratnih snaga ovisno o tome da li su generatori koji rade paralelno jednak ili nejednakne snage. Generatorski zaštitni prekidači imaju podnaponsku zaštitu koja je obično opremljena uredajem sa vremenskim zatezanjem i djeluje u slučaju da je pad napona iznad dozvoljenih granica, a traje nedozvoljeno dugo. Zaštita čitave mreže mora biti podešena tako da mjesto kvara isključi u što je moguće kraćem roku.

*Prekidači* bliže izvoru električke energije moraju imati zatezanje prekidanja kratkog spoja, a prekidači bliže krajnjim potrošačima što kraća vremena prekidanja kratkog spoja (kod modernih prekidača iznose  $7\cdots35$  ms). Ako struje kratkog spoja prelaze granične vrijednosti koje odgovaraju prekidačima upotrijebljenim u prvom redu kod krajnjih potrošača, često se primjenjuju prekidači s u seriji ugrađenim visokoučinskim rastalnim osiguračima koji prekidači strujni krug prije nego se razvije odgovarajuća vršna vrijednost struje kratkog spoja. Za ugradnju u brodske ploče najpodesniji su prekidači kompaktnog tipa, koji su se počeli upotrebljavati najprije u USA, a danas se njima koriste u svim važnijim brodograđevnim zemljama. Upotreba rastavljača i osigurača nije praktična jer za zamjenu osigurača mora postojati odgovarajuća rezerva, a popravci se često izvode nestručno, pa se gubi selektivnost mreže. U posljednje vrijeme sve se više primjenjuju rasklopni aparati, i to u prvom redu prekidači izvlačnog tipa. Oštećeni prekidač može se jednostavno izvući i odmah zamijeniti.

*Razdjelnici* služe za raspodjelu energije na pojedine grupe potrošača. Ovisno o smještaju, izvode se zaštićeni od kapanja vode ili od prelijevanja mora. Pojni i izlazni kabeli moraju se kao i svim ostatim



Sl. 31. Uklopni ormarić (Rade Končar)

električkim uredajima dovoditi odozdo ili sa strane, da se preko kabela ne bi slijevao kondenzat i time izazvao kvar na instalaciji. Ispred razdjelnika ili ispred sabirnica u samom razdjelniku ugraduje se rastavna sklopka, osim u slučaju kada se razdjelnik nalazi u vidnom polju sklopke izvoda sa kojega se napaja. Potrošači se uklapaju putem odgovarajućeg uklopnog uredaja odn. ormarića (sl. 31) ili direktno sa razdjelnika, ako se taj nalazi u vidnom polju potrošača.

Za spajanje kabela služe stopice i vijčani spojevi osigurani protiv odvrtanja. Na ulazu kabela u razdjelnik ili ormarić ugraduju se posebne uvodnice (sl. 32), koje osim učvršćenja kabela imaju i uložak za uzemljenje metalnog plašta kojim je kabel ovijen. Na



Sl. 32. Kabelska uvodnica (rastavljena)

prijelazu kabela kroz nepropusne pregrade ugraduju se slične uvodnice. Polaganje kabela predstavlja naročito složen zadatak, pa se prilikom projektiranja izrađuju detaljne studije kabelskih staza radi ispravnog polaganja kabela i odvajanja za pojedina mesta potrošnje.

*Brodski kabeli* moraju zadržati visoku vrijednost izolacije i kod velike vlažnosti, moraju biti otporni prema mehaničkim pritiscima i udarcima, visokim i niskim temperaturama, starenju i habanju, ulju, kiselinama i lužinama. Kabeli se normalno izrađuju za napon do 1000 V između vodiča, odnosno 660 V prema masi. Dozvoljeno strujno opterećenje brodskih kabela je znatno niže nego kabela za kopno pa se, prema propisima klasifikacionih društava, najviše temperature na koje se smiju zagrijati kabeli kreću od 55 do 70 °C. Propisi utvrđuju dozvoljena opterećenja kabela prema vrsti, namjeni i načinu polaganja. Za kabele koji napajaju grupe potrošača s intermitentnim pogonom određuju se koeficijenti kojima se množi zbroj presjeka pojnih kabela priključenih potrošaču da bi se odredio presjek kabela koji napaja grupu.

Kabeli se u snopovima polažu na staze od perforiranog željeznog lima i učvršćuju u razmacima od 25...30 cm poprečnim željeznim trakama ili uglovnicama. Da bi se dobro hladili, snopovi kabela ne smiju biti suviše debeli. Strujno opterećenje debljih kabela je u pravilu manje nego kabela manjeg presjeka. Npr. kabel od  $1 \times 185 \text{ mm}^2$  može prema preporukama GL biti opterećen do najviše 300 A. U istu svrhu mogu se upotrijebiti 2 kabela po 70  $\text{mm}^2$ , tj. presjek od 140  $\text{mm}^2$ . Za napajanje malih potrošača po pravilu se ne ugrađuju kabeli presjeka ispod 1,5  $\text{mm}^2$ . Za rasvjetu dozvoljava se najveći pad napona u kabelima od elektrane do mjesta potrošnje u iznosu od 5%, za jednofazne potrošače do 7% (vrijedi i za potrošače u stalnom pogonu), a za intermitentne pogone dozvoljava se najviše 12%.

*Mjerni instrumenti i kontrolna svjetla.* Prema propisima klasifikacionih društava mjerna područja ampermetara moraju biti za 50% veća od nazivnih struja potrošača, a u trofaznim mrežama s kaveznim motorima mora ovo područje biti razmjerno još veće. Uredaji za sinhronizaciju generatora u trofaznim mrežama moraju biti jednostavniji, sa što manje elemenata, a moraju sadržati najmanje: automatsko pokazivalo sinhronizacije, kontrolne sijalice, dvostruko mjerilo frekvencije i reverzijsku sklopku za podešavanje servomotora za regulaciju brzine vrtnje pogonskog stroja. Svaki glavni generator mora imati: vatmetar, tri ampermetra ili jedan s preklopkom i voltmetar s preklopkom. Kod generatora s klasičnom uzbudom mora postojati i voltmetar, odnosno ampermetar, za uzbudni strujni krug. Za kontrolna svjetla brodske električke instalacije ugraduju se sijalice otporne prema vibraciji, obično za 24 V i 5 W, ili tinjalice. Napon od 24 V dobiva se u izmjeničnim sistemima transformacijom preko jednofaznih suhih transformatora male snage (do 15 VA) koji napajaju nekoliko kontrolnih sijalica.

#### RASVJETA

Na brodu je ugraden velik broj rasvjetnih tijela jer većina prostorija u kojima se odvija pogon ili život ima smanjeno dnevno

svjetlo ili ga uopće nema. Zbog razloga čvrstoće i nepropusnosti prozori su maleni, a u strojarnici ili unutrašnjost broda, gdje se nalaze glavni pogoni, uopće ne dopire dnevno svjetlo.

Propisi zahtijevaju sigurno uzemljenje svih kućišta rasvjetnih tijela i instalacije za razdiobu i uklapanje rasvjete. Opasnost od dodirnog napona povećana je uslijed slane i vlažne okoline, pa su stoga i određeni najveći dozvoljeni naponi rasvjete (v. tablica 1). Na tankerima, gdje postoji i opasnost eksplozije plinskih smjesa, propisi određuju manje napone rasvjete nego na ostalim brodovima. Prema propisima HNA na osigurač od 10 A, ili automatski prekidač, smije kod napona mreže od 110 V biti priključeno najviše 16 sijalica od 40 W, ili 10 sobnih utičačkih kutija, ili 6 nepropusnih kutija, a za napon od 220 V najviše 24 sijalice od 40 W, ili 15 sobnih utičnica, odnosno 9 nepropusnih utičnica. Posebni strujni krugovi moraju biti predviđeni za prostorije za boravak, hodnike i sanitarnе prostorije, tovarne prostore, strojarnicu i kotlovnici (2 ili više strujna kruga), vanjsku rasvjetu (reflektore do maksimalno 20 A), nepropusne utičnice i palubna sunca, rasvjetu kompasa ili radio-stанице.

Tablica 7  
PREPORUKE ZA JAKOST RASVJETE NA BRODOVIMA  
(u  $\text{W}/\text{m}^2$ ) prema DIN 5035 i DIN 89001

tankovi	4
tovarni prostori	6
praonice	12
kotlovnice, bolesničke sobe	15
gospodarske prostorije	25
prostorije za putnike, prostorije za boravak za posadu, preprostori prostorija za boravak	40
kancelarije, ambulante	60

**Rasvjeta unutrašnjih prostorija.** Tablica 7 daje jakost rasvjete prema DIN 5035 i DIN 89001. Vrijednosti se odnose na primjenu sijalica od 40 W. Kad se upotrijebe druge vrste rasvjetnih tijela, treba ih korigirati prema odgovarajućem omjeru korisnog svjetlosnog toka. U praksi se primjenjuju i veće vrijednosti, osobito za prostorije boravka putnika i posade, ili u strojarnici.

Normalne sijalice od 40 W daju svjetlosni tok od  $\sim 10 \text{ lm}/\text{W}$ , a za jače sijalice ta je vrijednost veća (100 W daje oko 14  $\text{lm}/\text{W}$ ). Normalne sijalice samo  $\sim 5\%$  energije pretvaraju u svjetlo, a 95% u toplinu. Kad je broj sijalica velik, u skućenim i niskim brodskim prostorijama, osobito u tropima, ta toplina može postati nesnosna za ljudе, pa je to jedan od razloga sve veće upotrebe tzv. »hladnog svjetla«, tj. fluorescentnih sijalica, koje oko 20% energije pretvaraju u svjetlo, a svega 80% u toplinu. Mjerenja su pokazala da od ukupne topline koja se stvara u brodu, a koju u toplim zonama mora odvoditi ventilacija, oko 9% otpada na toplinu iz rasvjetnih tijela. Fluorescentne sijalice imaju i prednost da su u brodskim uvjetima izdržljivije od sijalica sa žarnom nitи.

Iskoristivost rasvjete je također specifična za brodske prilike. Za izračunavanje potrebne rasvjete upotrebljavaju se različite metode kojima se ukupno potreban svjetlosni tok izračunava iz zahtijevane jakosti rasvjete, površine prostorija i iskoristivosti rasvjete, koja operativno ovisi o obliku prostorije, propusnoj moći rasvjetnog tijela, refleksiji i apsorpciji. Za strojarnicu potreban je detaljan studij rasporeda rasvjete radi mnoštva zasjenjenih prostora i potrebne vidljivosti za rad i uzdržavanje opreme.

**Vanjska rasvjeta.** Za vrijeme plovidbe noću rasvjeta palube ima beznačajnu ulogu. Ali dobra rasvjeta je od prvorazredne važnosti pri operacijama krcanja tereta, lovу ili izvlačenju ribe, stajanju u luci, popravcima havarija na palubi, operacijama spašavanja na palubi čamaca itd. Proračun rasvjete palube bitno se razlikuje od proračuna rasvjete unutrašnjih prostorija. Utjecaj refleksije je zanemarljiv pa se ne uzima u obzir. Jedino raspored rasvjete na šetnoj palubi ima nešto sličnosti s rasporedom u unutrašnjosti broda. Za vanjsku rasvjetu služe svjetiljke s intenzivnim uskim mlazom svjetla, ili palubna sunca, ili, u specijalnim slučajevima, naročito konstruirani reflektori. Reflektori se upotrebljavaju također pri spašavanju, za osvjetljavanje plovнog puta, za signaliziranje na daljinu itd. Najviše se primjenjuju reflektori s lučnim svjetlom, koji obično rade s naponom od 50...55 V i 100 A. U istosmjernim mrežama napajaju se posebnim pretvaračima koji se grade za 3,5...6,3 kW i pogone brzohodnim istosmjernim ili indukcijskim motorom a prilagođeni su negativnoj karakteristici luka.

Brodovi koji plove kroz Panamski, Sueski ili Kielski kanal moraju biti opremljeni tzv. *Suez-reflektorem* koji daje dva odvojena snopa svjetla pod kutom od  $5^\circ$ , a između oba snopa je neosvjetljen prostor. Time se izbjegava zasljepljivanje brodova koji dolaze u susret, a svakim snopom se osvjetljuje jedna strana kanala. *Suez-reflektor* može imati jedan izvor svjetla i sistem od dva parabolična zrcala koja razbijaju svjetlo u dva snopa, ili je sastavljen od dva reflektora uskog snopa koji su smješteni na zajedničkom postolju i zakrenuti su jedan prema drugom za  $5^\circ$  (sl. 33).



Sl. 33. Suez-reflektor (AEG)

*Navigacijska i signalna svjetla* predstavljaju posebnu grupu svjetiljaka koje se moraju obavezno ugradivati, a utvrđena su propisima Konvencije o sigurnosti života na moru. Ugraduju se zbog sprečavanja sudara, a moraju biti upaljena od nastupa mraka do zore i vidljiva u mračnoj i jasnoj noći na određenoj udaljenosti. Ova svjetla su priključena na glavnu mrežu i na mrežu za nuždu. Ploča za ta svjetla smještena je u kormilarnici. Za kontrolu rada svjetiljki ugrađen je na toj ploči za svaku pojedinu svjetiljku optički ili akustički signal, a pojni vod svjetiljke je osiguran malim automatom ili rastavnim osiguračem.

Instalacijski materijal za priključivanje i uklapanje rasvjete mora biti nepromočive izvedbe (sl. 34). Kućišta su od mjeđi ili aluminijskih legura otpornih prema slanoj vlažnosti (GAIMg 5), a snabdjevena su nepromočivim kabelskim uvodnicima. Prema propisima LR sve utičnice iznad 15 A moraju imati ugrađenu sklopku, a zatvaraju se nepromočivo pomoću poklopca koji je privezan lančićem (sl. 34 desno). Samo u stambenim prostorijama, hodnicima i pretprostorijama društvenih prostorija ili spavaonica mogu se upotrebljavati sklopke ili utikači u kućištima od plastičnih masa, jer je tamo smanjena opasnost od utjecaja slane vlažnosti.

#### ELEKTRIČKO GRIJANJE

Električko grijanje brodskih prostorija primjenjuje se u posljednje vrijeme sve više, jer je jednostavnije i lakše se postavlja nego parno grijanje.



Kutija s prekidačem



Utikač



Utikačka kutija s razvodnikom

Sl. 34. Brodski nepromočivi instalacioni materijal

Utrošak topline za grijanje prostorija na brodu je veći nego na kopnu zbog veće vlažnosti, jačeg utjecaja vjetra, relativno nižih prosječnih temperatura i bržeg prolaza topline kroz lakovane ili samo donekle izolirane metalne zidove brodskih prostorija. Gubici topline veći su u prostorijama sa stropom iznad kojega se nalazi paluba. Uz vanjsku temperaturu  $-15^\circ\text{C}$  računa se da je za zagrijavanje prostorija na  $+20^\circ\text{C}$  potrebno  $80 \text{ W/m}^2$  za prostorije za boravak putnika i posade, a  $50 \text{ W/m}^2$  za stubišta, kuponice i unutrašnje kabine. Proračun se korigira za utjecaj zračenja rasvetnih tijela.

Ogrjevna tijela najčešće se izvode od elemenata, tzv. cijevnih grijala, koji su obično savinuti u obliku slova U. U tim elementima ogrjevna spirala nalazi se u centru zaštitne cijevi, a međuprostor je napunjeno keramičkom masom. Na taj način je utjecaj korozije na samu žarnu nit gotovo potpuno eliminiran. Izraduju se i specijalno oblikovana ogrjevna tijela i elementi, koji se prema potrebi priključuju na ploče i spajaju u baterije. Za kabine i prostorije za boravak grijala su obično ugradena u ukusno izrađena limena kućišta. U uređajima za klimatizaciju ugrađuju se ovakve baterije u zračnu struju. Grijanje se može uključivati ili isključivati pojedinačno. Opisane baterije grijala upotrebljavaju se i za predgrijavanje ulja za mazanje, loživog ulja, vode i sl.

#### ELEKTRIČKI UREĐAJI ZA PROPULZIJU BRODA

Pogon brodskog propelera s pomoću elektromotora može u određenim uvjetima i za određene tipove brodova biti povoljniji od parnog ili motornog pogona. O prednostima i nedostacima električkog uredaja za propulziju broda v. poglavje Brodski pogonski uredaji u članku *Brod*.

U slučajevima kad mehanički prijenos energije od pogonskog stroja na propeler nije moguć ili nije podesan, primjenjuje se električka propulzija. Za pogon električkih generatora služe turbine ili dizel-motori, a električki sistem prijenosa za promjenu smjera i brzine vrtnje može biti fiksni ili promjenljivi. U fiksnom sistemu mijenja se brzina vrtnje propelera tako da se mijenja brzina vrtnje pogonskog stroja, a u promjenljivom sistemu može jedan pogonski stroj služiti za više generatora. Stepen djelovanja električkog prijenosa manji je nego mehaničkog zbog dvostrukе pretvorbe energije. Najpovoljniji je u trofaznim instalacijama gdje u velikim pogonima može iznositi i do 95%; u istosmernom sistemu pak rijetko prelazi 81%. Za snage iznad 10 000 KS upotrebljava se isključivo trofazni sistem; on, međutim, ne može dati karakteristike koje se mogu postići u istosmernom sistemu.

Brodovi i plovni objekti kojima se brzina plovidbe mijenja u širokim granicama mogu imati više manjih električkih agregata, pa se u pogon stavlja samo toliko njih koliko zahtijeva momentalna brzina broda. Takvo rješenje električkog propulzijskog uredaja ima najširu primjenu na specijalnim brodovima, npr. na ledolomicima, tegljačima, plovnim dizalicama, plovnim bagerima, podmornicama itd. Na nekim plovnim jedinicama, npr. na velikim ribarskim brodovima, bagerima, plovnim dizalicama i sl., često se dio električke energije iskorištava za pogon velikih strojeva kao: pumpi za mulj, ribarskog vitla, vitla za plovne dizalice itd.

Promjene otpora broda, izazvane promjenom brzine broda, djelovanjem valova i vjetra itd., utječu na promjenu brzine vrtnje propelera i na promjenu porivne snage. Uredaj za propulziju mora se prilagodavati tim promjenama opterećenja. U slučaju pogona istosmernom strujom to se pouzdano postiže već samom karakteristikom strojeva koji pri preopterećenju daju propeleru povećani moment, a pri rasterećenju imaju ograničenu brzinu vrtnje. Veći trofazni pogoni imaju posebni regulacijski uredaj koji u slučaju preopterećenja povećava uzbudu generatora i propulzijskih motora i time osigurava stabilnost sistema. Zadatak je regulatora brzine vrtnje strojeva za pogon električkih generatora da osiguraju gornju granicu brzine vrtnje i stroj prilagode potrebnoj snazi. Automatsko prilagodivanje momenta istosmernih

propulzijskih motora potrebnom momentu na propeleru osigurava da se preveliki momenti ne prenose na pogonski stroj.

Prilikom manevriranja broda, kad se mijenja smjer vožnje, najprije treba usporiti i zaustaviti masu broda u kretanju, masu propelera i osovine, masu vode koju potiskuje propeler i masu rotora propulzijskog stroja, a zatim ih u protivnom smislu ubrzati. Za dimenzioniranje električnih propulzijskih strojeva mjerodavne su ekstremne radne tačke procesa prekretanja stroja. Manevar prekretanja stroja, radi zaustavljanja broda ili radi promjene vožnje naprijed u vožnju krmom, vanredno je važan za sigurnost broda prilikom pristajanja i izbjegavanja nesreća na moru. Radni procesi prilikom ovog manevra detaljno su istraživani i razrađene su metode proračuna zakretnih momenata propulzijskog kompleksa u pojedinim fazama procesa. Zbivanja za vrijeme prekretanja stroja definirana su diferencijalnom jednadžbom gibanja broda:

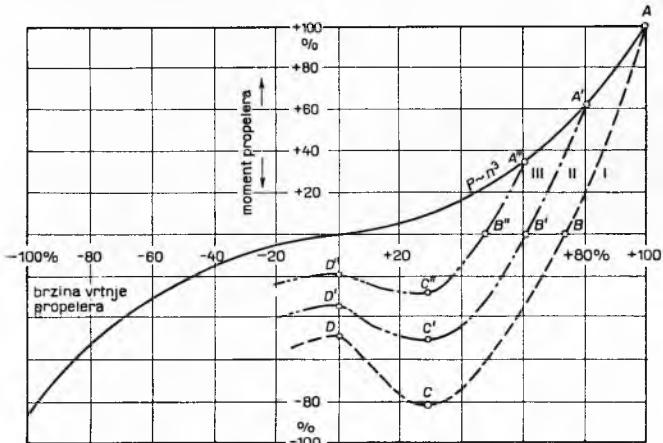
$$m \frac{dV}{dt} = T - R$$

i jednadžbom rada propulzijskog kompleksa:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_s - M - M_F,$$

u kojima je  $m$  masa broda i dodatna masa vode,  $V$  brzina broda,  $t$  vrijeme,  $T$  poriv propelera,  $R$  otpor broda,  $I$  moment tromosti rotirajućih masa sistema i dodatne mase vode,  $\omega$  kutna brzina,  $M_s$  zakretni moment stroja,  $M$  moment propelera,  $M_F$  moment trenja osovninskog voda.

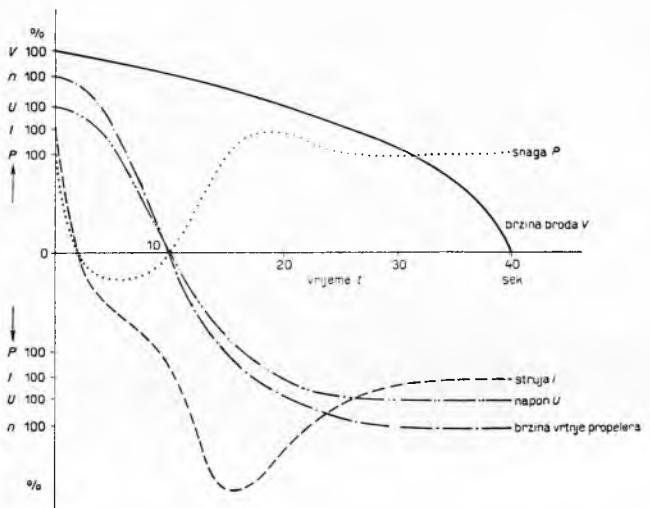
Pojedine promjenljive veličine u ovim jednadžbama najjednostavnije se odrede ispitivanjem modela broda. Rezultati takvih ispitivanja prikazuju se u obliku dijagrama (sl. 35) koji za različite



Sl. 35. Krivulje prekretanja propelera (Robinsonove krivulje)

konstantne brzine gibanja propelera daje promjenu momenta propelera uslijed njegovog prekretanja. Puna krivulja na sl. 35 prikazuje ovisnost momenta propelera o broju okretaja. Tačka  $A$  na toj krivulji označava prekret stroja, moment propelera počinje padati, nakon tačke  $B$  postaje negativan, pa u tački  $C$ , kad broj okretaja propelera padne na  $\sim 30\%$  od broja okretaja na početku procesa, postiže minimum. U tački  $D$  propeler se zaustavi i promijeni smjer vrtnje. Od trenutka kad je moment propelera postao negativan (tačka  $B$ ) pa sve dok propeler ne promijeni smjer vrtnje (tačka  $D$ ) struja mijenja smjer, a napon, zbog nepromijenjenog smjera vrtnje propelera, zadržava prvobitni polaritet. To znači da za to vrijeme propeler djeluje kao turbina koja tjera propulzijski motor, tj. istosmjerni propulzijski motor radi kao generator i daje energiju u mrežu. Polaritet napona se mijenja s promjenom smjera vrtnje propelera, kad stroj, sad opet kao motor, počinje ubrzavati propeler u suprotnom smislu.

Pomoću Robinsonovih krivulja i uz poznate karakteristike momenta i broja okretaja stroja, tok procesa prekreta kao funkcija vremena rješava se približnim iteracijskim postupkom, i to podjelom na male vremenske intervale. Na sl. 36 prikazane su takve rezultirajuće promjene pojedinih veličina u ovisnosti o vremenu.

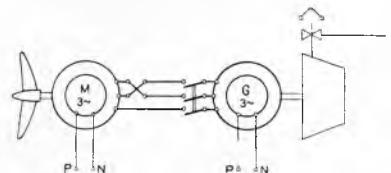


Sl. 36. Odnosi kod prekretanja s Ward-Leonardovim propulzijskim sistemom za prazan brod brzine 10 čv

**Vrste električke propulzije.** Električki pogon propelera *akumulatorom* kao izvorom električne energije primjenjuje se na čamcima. Velika težina akumulatorske baterije relativno male energije ograničava primjenu. Baterija se puni iz kopnene mreže, obično noću.

Električki pogon propelera *kombiniranim dizel-generatorom i akumulatorske baterije* jest pogon koji ima, kao i pogon akumulatorom, izvor energije praktično konstantnog napona. Jedno je rješenje da se elektromotor propelera napaja iz akumulatorske baterije, a dizel-generator konstantne vrtnje služi za punjenje baterija. Drugo je rješenje da dizel-motor radi na istoj osovini sa propellerskim elektromotorm, pa pri malim brzinama dizel-motor pokreće i propeler i električki stroj koji napaja bateriju, a pri većim brzinama elektromotor pokreće propeler i energijom iz baterije. Manevriranje i prekretanje smjera vrtnje propelerske osovine izvodi se samo električkim strojem. Ovaj sistem se često primjenjuje na podmornicama.

*Turboelektrički pogon* (sl. 37) primjenjuje se najčešće na brodovima snage iznad 10 000 KS (velikim putničkim brodovima) i to obično s trofaznim električnim sistemom, a ima najveći električki stepen djelovanja. Većinom za pokretanje svakog propelerskog motora služi posebni turbogenerator. Brzina vrtnje propelerskog motora prilagođena je najpovoljnijoj brzini propelera. Tome se podređuje i izbor frekvencije, koja može znatno odstupati od standardnih vrijednosti. Na primjer, francuski putnički brod »Normandie« imao je instalirana četiri propulzijska sinhrona trofazna elektromotora brzine vrtnje 243 min<sup>-1</sup>, svaki za 40 000 KS, napajana od četiri turbogeneratora ukupne snage 160 000 kVA, koji su davali energiju u posebnu mrežu i radili sa maksimalnom frekvencijom od 81 Hz.



Sl. 37. Shema turboelektričkog prenosa sa sinhronim propulzijskim motorom

Turbina je snabdjevana regulatorom za mijenjanje brzine vrtnje u velikom području, tako da se propelerski motor pokreće sa 20% nazivne brzine. Kako povećanjem brzine raste frekvencija, raste i brzina vrtnje propelerskog motora. Između propelerskog elektromotora i osovine propelera može se ugraditi reduktor ukoliko se, zbog manjih dimenzija i niže cijene propelerskog elektromotora sa visokim brojem okretaja, time postiže ušteda na prostoru i na troškovima čitavog postrojenja. Na brodovima sa više propelera, pri manjoj brzini plovidbe, može jedan turbogenerator napajati više propelerskih motora, čime se postiže veća ekonomičnost pogona. Propelerski motori mogu biti smješteni u samoj krimi pa nisu potrebni dugački osoviniski vodovi. Turbogeneratori se

mogu smjestiti na najpovoljnijem mjestu u brodu pa i odvojeno, što je od osobitog značenja za ratne brodove. Agregati moraju u vijek biti smješteni u smjeru uzdužne osi broda. U najnovije vrijeme postignuti su značajni rezultati primjenom plinske turbine za pogon turbogeneratora, čime se je dobilo na težini i prostoru, a povećana je i ekonomičnost pogona.

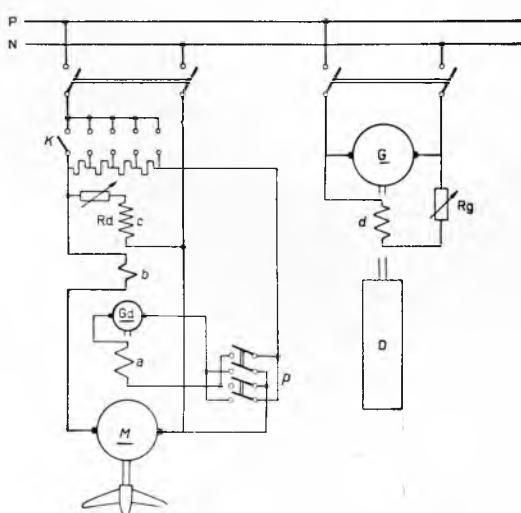
**Dizel-električki pogon** primjenjuje se prvenstveno na brodovima malih i srednjih snaga. Najčeće se izvodi u kombinaciji sa istosmjernim električkim uređajima na tegljačima, ledolomcima, plovnim dizalicama, bagerima, trajektima, a i na putničkim i teretnim brodovima srednje veličine. Trofazni dizel-električki uređaji služe za pogon putničkih i trgovачkih brodova većih snaga. Dizel-električko postrojenje može se sastojati od većeg broja manjih dizel-generatora sa brzokretnim dizel-motorima. Prema potreboj snazi uključuje se odgovarajući broj agregata, čime se postiže da je pogon u vijek ekonomičan i da se lako prilagoduje svim promjenama opterećenja propelerom, a kvar jednog dizel-motora ne sprečava normalnu plovidbu.

**Dodatni električki propulzijski uređaji.** Kao dodatni pogon glavnog propulzijskog stroja često se ugradjuje elektromotor na istoj osovini ili pomoću prijenosa. Motor se napaja iz akumulatorske baterije ili iz posebnog generatora. Kad ispadne iz pogona glavni stroj, ovaj elektromotor služi kao pomoći za pogon propelera.

**Električki prijenos na uređajima za propulziju broda.** Prema vrsti razlikuju se ovi sistemi električkog prijenosa: istosmjerni sistemi konstantnog napona, Ward-Leonard i konstantne struje, trofazni sistem i kombinirani trofazno-istosmjerni sistem. Svi ti sistemi omogućuju prekretanje smjera vrtnje propelera bez prekretanja pogonskog stroja. Trofazni sistem izvodi se najčeće s fiksnim električkim prijenosom, osim u specijalnim slučajevima kada su za pogon propelera potrebne male snage. Istosmjerni sistem i trofazno-istosmjerni sistem u vijek su promjenljivog električkog prijenosa.

**Pogon propelera istosmjernom strujom.** U istosmjernom sistemu istosmjerni generator preko kabela napaja istosmjerni motor propelera.

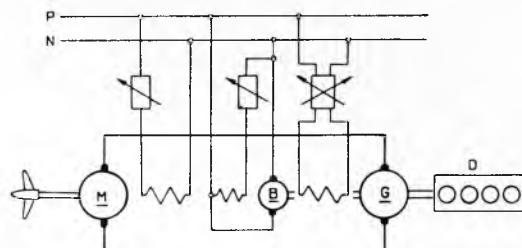
Istosmjerni sistem konstantnog napona ima jedan ili više generatora konstantne brzine koji strujom konstantnog napona napajaju propellerski motor i pomoćne pogone. Nedostatak je tog sistema što se propellerski motor mora pokretati serijskim reduktorom koji mora biti dimenzioniran za punu struju armature i zbog toga je ponekad vrlo glomazan. Upotreboom dodatnog malog generatora (negative booster generator), koji je pokretan od propellerskog motora a u protuspoju je s njegovom uzbudom, postiže se regulacija brzine vrtnje u omjeru 3 : 1 uz automatsko upravljanje udarcima struje koji nastaju pri promjeni brzine (sl. 38). Propellerski motor se normalno dimenzionira tako da daje polovinu brzine vrtnje kad je porivni namot dodatnog generatora isključen. Ovaj sistem je prikladan za male brodove porivne snage do 500 KS;



Sl. 38. Istosmjerni propulzijski sistem konstantnog napona

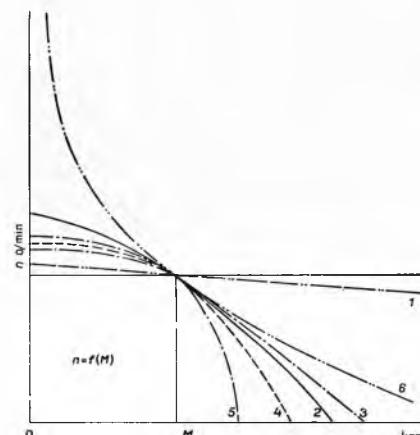
iznad te snage je primjena neekonomična zbog toga što i dodatni generator i uredaj za upravljanje moraju biti dimenzionirani za potrebne jakosti struje, pa ti uredaji za velike snage postaju suviše veliki.

**Sistem Ward-Leonard** (sl. 39) sastoji se od generatora konstantne brzine vrtnje s armaturom kratko spojenom na armaturu propellerskog motora slične veličine. Odvojen izvor konstantnog na-



Sl. 39. Sistem Ward-Leonard za pogon vijka

pona napaja uzbudu generatora i motora, a brzina vrtnje motora regulira se promjenom veličine i smjera uzbude generatora. Dobiveni polaritet i visina narinutog napona određuju smjer i brzinu vrtnje propellerskog motora.

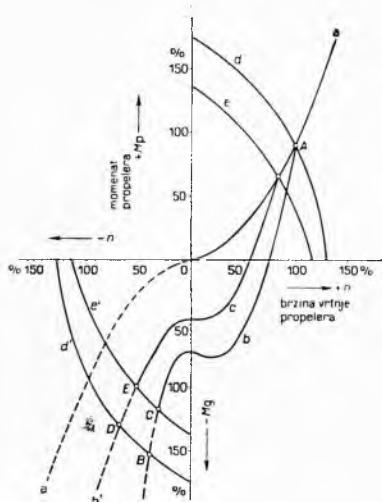


Sl. 40. Karakteristike Ward-Leonardovog pogona kod primjene različitih vrsta propulzijskih istosmjernih generatora

Za odvojeno napajanje svakog propellerskog motora potreban je najmanje jedan generator. Potrebni moment motora za zadatu brzinu vrtnje propelera rezultira iz produkta konstante motora, magnetskog toka i struje motora  $M = k_3 \cdot \Phi \cdot I$ . Posebni uredaj automatski prilagođuje moment različitim vrijednostima poriva, i to naročito prilikom manevriranja. Kad poraste moment na propeleru, uredaj smanjuje brzinu vrtnje tako da predana snaga u vožnji i za vrijeme manevra ostaje praktično konstantna. Karakteristika generatora koji odgovaraju takvom zahtjevu postiže se i protukompaundiranjem, zasićenjem željeza generatora ili dodavanjem samouzbude (Krämerov stroj). Sl. 40 pokazuje karakteristike Ward-Leonardova sistema uz upotrebu generatora različitih karakteristika.

Krivilje momenta propelera i momenta istosmjernog propulzijskog uređaja za uvjete normalne plovidbe broda kao i za prekretanje i promjenu smjera vožnje broda prikazuje sl. 41. Tačka A pokazuje stanje pri vožnji broda nazivnom brzinom. Vidi se da u čitavom području vrtnje propelera električki propellerski uređaj ima znatan višak raspoloživog momenta kojim se ubrzava propeler ili potiskuje voda. Tačke C i B, koje vrijede za slučaj prekretanja, nalaze se na odgovarajućem dijelu Robinsonove krivulje a pokazuju pogonska stanja nakon relativno kratkog vremena prekretanja. Opadanjem brzine broda pogonsko stanje automatski prelazi u tačke E i D. Prelaz od skliza 0 do zaustavljanja propelera kratak je, tako da se dobiva samo mala povratna energija koja je za rad dizel-motora praktički beznačajna. Kad se koči propelerom,

mijenja se smjer vrtnje propelera i toka energije, tj. opterećenje dizel-motora je normalno. Snaga potrebna za uzbudu generatora, pomoću koje se vrši upravljanje, iznosi svega 0,5...1% snage potrebne za pogon propelera. Zbog toga su i aparati za upravljanje



Sl. 41. Karakteristike vijka s jednosmjernim propulzijskim uređajem

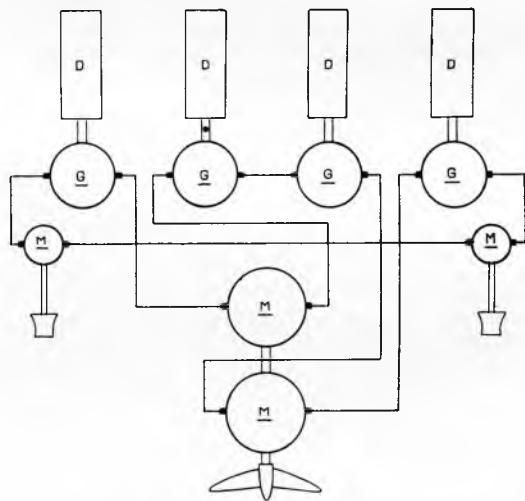
maleni i usprkos robustne izvedbe omogućuju smještaj na bilo koje mjesto i upravljanje propelerom s bilo kojeg mesta na brodu.

Općenito, pri proračunu dinamičkih karakteristika propulzijskog kompleksa uzima se da brod ima konstantnu brzinu. U tom slučaju se može računati da je moment propelera  $M_p$  vrlo približno proporcionalan kvadratu brzine vrtnje propelera, dok kod pokretanja treba računati s odgovarajućom ranije opisanom Robinsonovom krivuljom.

U istosmjernom Ward-Leonardovu sistemu električkog prijenosa, brzina propelerskog elektromotora praktično ovisi samo o naponu generatora i o magnetskom polju motora, a gotovo je neovisna o protumomentu koji nastaje na propeleru. Kako se struja uzbude generatora može mijenjati po volji, a isto tako se može mijenjati i struja uzbude propelerskog motora, može se istosmjerni propelerski motor prilagoditi svim zahtjevima pogona propelera. Ekonomičnost pogona postiže se većim brojem u seriju spojenih generatora koji se već prema potrebama uključuju putem posebne sklopke u Ward-Leonardov krug. Na primjer, ako je od dva generatora jednake snage uključen samo jedan, uz punu uzbudu generatora i motora postiže se 50% brzine vrtnje motora. Budući da se snaga propelera mijenja približno s kvadratom brzine vrtnje, samo se oko 12,5% ukupne snage generatora prenosi na

propeler, pa se smanjivanjem uzbude propelerskog motora, a da se ne prekorači raspoloživa snaga, može povisiti brzina vrtnje propelera do ~ 79% maksimalne brzine vrtnje. Sl. 42 pokazuje različite spojeve istosmjernih Ward-Leonardovih sistema prijenosa snage.

*Spoj konstantne struje.* Ako pored propelera treba iz istog izvora snabdijevati električkom energijom i druge velike potrošače, npr. pumpe, vrtlja i sl., i to tako da se pri tome može njima upravljati neovisno o propulzijskom stroju, primjenjuje se spoj konstantne struje (sl. 43). Pri tome ostaju generatori i motori spojeni u seriju, a uzbuda generatora podešava se pomoću zasebnog regulacijskog uređaja tako da struja armature svih strojeva spojenih u seriju zadržava konstantnu vrijednost. Promjena brzine vrtnje i smjera vrtnje različitih motora postiže se promjenom njihove struje uzbude. Generatori se dimenzioniraju tako da jedan ili više generatora spojenih u seriju može ekonomično raditi i kad centralna služi za propulziju. Isto tako se pojedini generator upotrebljava i za snabdijevanje rasvjete i ostalih potrošača na brodu. Motori koji rade s konstantnom strujom armature razvijaju moment koji je određen strujom uzbude i neovisan je o brzini vrtnje. Uz određenu struju uzbude brzina vrtnje će rasti sve dok se ne izjednači moment motora s protumomentom propelera. Motor se može zakočiti bez opasnosti jer struja armature ne može narasti. Bijeg

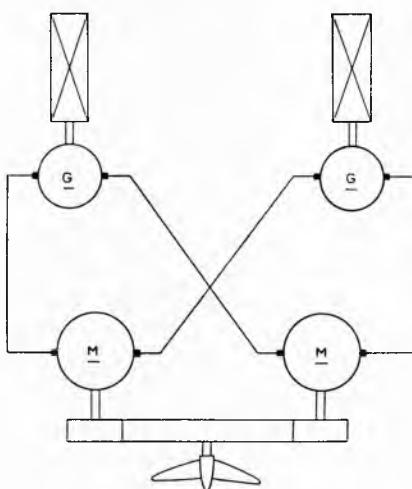


Sl. 43. Pogon jednog vijka dvama propulzijskim motorima. Četiri generatora i dva ribarska vrtlja motora povezani su s ovim motorima u spoju konstantne struje

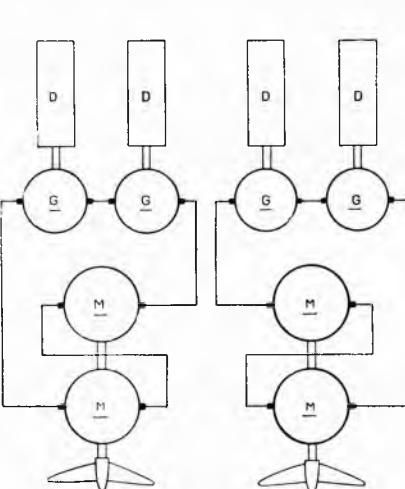
motora kod malih protumomenata može se spriječiti pomoću malog dodatnog generatora koji je pokretan od propelerskog motora, a spojen je u seriju s uzbudom tako da uzbuda slabiti kad raste brzina

motora. Opterećenje generatora konstantne struje proporcionalno je njegovom naponu, koji je opet jednak sumi napona motora priključenih u seriji. Svaki od priključenih motora proizvodi protuelektromotornu silu proporcionalnu produktu jakosti polja i brzine vrtnje:  $E_m = k_4 \Phi n$ .

Ovaj sistem se najčešće dopunjuje specijalnim uzbudnikom (amplidinom) ili magnetskim pojačalom, koji brzo i osjetljivo reagira na male promjene u sistemu. Bijeg malih motora uzbudne snage 5 kW i veće sprečava se pomoću amplidina, čijom se malom strujom uzbude može lako i jednostavno upravljati pomoću upravljačke sklopke. Bijeg se sprečava dodatnim upravljanjem uzbudom amplidina, koja se može podešiti tako da djeluje samo kad brzina motora naraste preko mjere, kako se obično događa kad propeler izroni iz vode. S druge strane poseban uređaj generatora ograničava visinu napona. Motore nije moguće preopteretiti zbog



Pogon jednog vijka dvama propulzijskim motorima napajanjem iz dva generatora u križnom spoju



Nezavisni pogon dvaju vijaka dvostrukim propulzijskim motorima

Sl. 42. Osnovni tipovi Ward-Leonardovog istosmjernog propulzijskog pogona

konstantne struje i zbog toga što je struja uzbude ograničena zasićenjem, a ograničeni napon onemoguće pojave štetnih napona u sistemu.

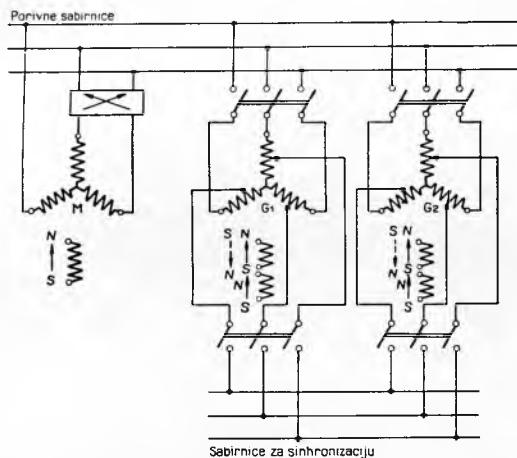
**Pogon propelera trofaznom strujom** može biti s fiksnim i s promjenljivim prijenosom.

**Trofazni sistem s fiksnim električkim prijenosom** izvodi se u tri glavne varijante. Prva je varijanta s turbogeneratorom koji pogoni sinhroni propellerski motor snabdjeven prigušnim kaveznim namotom. Pri pokretanju propellerski motor radi kao indukcijski,

s namotima spojenim u seriju (sl. 44). Kad se reverzira na jednoj polovini dvostrukog generatora, reverzira se polje uzbude tako da obje polovine namota, iako zadržavaju punu vrijednost napona, rade u opoziciji, i rezultirajući napon na sabircicama propeler-skog motora jednak je 0. Nakon isklapanja motora može se jedna po jedna polovina namota generatora sinhronizirati na posebne sabirnice. Pošto je sinhronizam postignut i izmijenjene su faze na motoru, motor se opet uključuje na sabirnice.

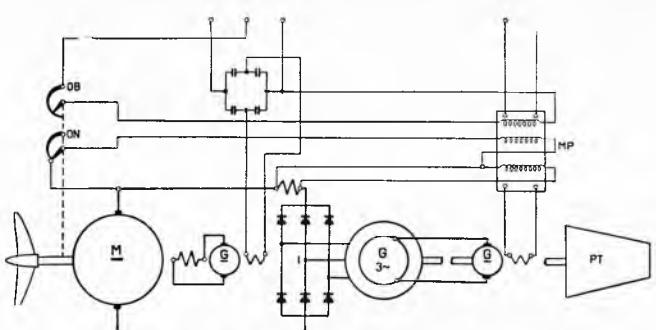
**Trofazni sistem s promjenljivim prijenosom** primjenjuje se rijetko, i to u slučajevima kad se ne traži da brod često vozi smanjenom brzinom ili kad pogon propelera ne traži veću snagu. Najčešće se u tu svrhu upotrebljava kolutni induktijski propellerski motor. Regulacija brzine dobiva se ili uključivanjem otpornika u rotorski strujni krug ili time što se snaga motora prenosi na propeler putem hidrauličke spojke. Ovakvim sistemom prijenosa nastaju neizbjegli gubici energije u otpornicima kad brod vozi smanjenom brzinom (sl. 45). Ovaj sistem primjenjuje se uglavnom na plovnim bagerima.

**Trofazno-istosmjerni sistem pogona propelera** sastoji se od brzokretnog turbogeneratora i istosmjernog propellerskog elektromotora. Turbo-generator velike brzine (obično dvo- ili četvero-polni) pogoni plinsku turbinu, a trofazni napon ispravlja se silicijskim ispravljačem i služi za napajanje armature propellerskog istosmjernog motora. Vrlo male dimenzije plinske turbine i turbogeneratorske, i propellerski istosmjerni motor koji se može prilagoditi potrebama propelera u svakom režimu rada, predstavljaju ekonomski, težinski i pogonski vrlo povoljno rješenje (sl. 46). Generator radi konstantnom brzinom, ali promjenom uzbude može se dobiti promjenljiv napon koji ispravljen napaja propellerski motor promjenljivim istosmjernim naponom. Motor se prekreće promjenom polariteta posebno napajane poredne uzbude.



Sl. 44. Trofazni propulzijski sistem s dva dvokotvena dvonamotna generatora

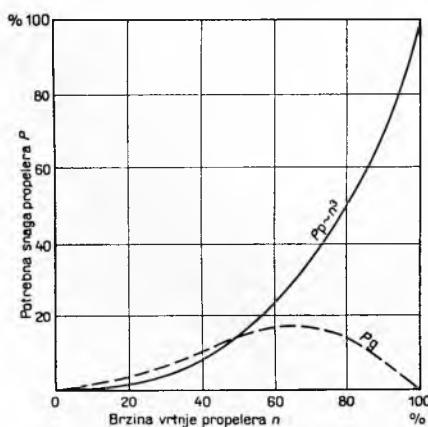
a turbina pogoni generator sa  $\sim 20\%$  brzine vrtnje. Brzina vrtnje povećava se regulacijom brzine vrtnje turbine. Pri reverziranju motoru se zamjenjuju dvije faze, a osim što se mijenja brzina turbine — čime se mijenja frekvencija napona generatora i brzina vrtnje motora — poraste uzbuda generatora čak do dvostrukog iznosa. Motor koji koči propeler mora razviti u protivnom smjeru puni nazivni moment da bi zaustavio propeler. Gotovo svi turbo-električki pogoni propelera rade na tom principu. Kod pogona dvaju propelera napajanje jednog propelera je potpuno nezavisno od napajanja drugog, ali moguće je i prebacivanje energije generatora na oba propeler. U drugoj varijanti dva turbogeneratora napajaju jedan sinhroni propellerski motor, koji postiže oko 80% brzine vrtnje energijom jednog generatora. Za punu brzinu uključuje se i drugi generator a da se ne prekida napajanje motora. U trećoj varijanti do četiri dizel-generatora napajaju po jedan propellerski motor, a regulacija brzine dobiva se simultanom regulacijom brzine vrtnje svih dizel-motora. Reverziranje se vrši kao i prije, pri čemu je potrebno prije promjene faza ukloniti uzbudu



Sl. 46. Trofazno-istosmjerni porivni sistem

Magnetsko pojačalo daje cijelom sistemu karakteristiku pogona konstantnom snagom. To se postiže tako da regulator brzine vrtnje djeluje na otpornik brzine kojim se podešava snaga magnetskog pojačala. Time je određena uzbuda generatora, a prema tome i napon generatora i brzina propelera. Promjene propulzijske struje registriraju se i prenose na magnetsko pojačalo proporcionalno razlici struje. Promjene napona nastaju na stezaljkama ispravljača i ispravljaju se automatski pomoću regulatora brzine koji djeluje na otpornik brzine i na promjenu naponskog predotpora. Dodatno polje koje tako nastaje u magnetskom pojačalu mijenja se prema položaju naponskog predotpora i varira s opterećenjem, ukoliko propulzijska struja prouzroči pad napona. Naponski i strujni namoti magnetskog pojačala imaju isti polaritet i njihovo se protjecanje suprotstavlja protjecanju namota na koji djeluje promjena brzine. Ravnoteža nastaje kad se ova protjecanja međusobno ponište. Kad poraste teret, raste protjecanje strujnog dijela pojačala iznad protjecanja brzine. Time, uslijed magnetskog zasićenja, dolazi do opadanja uzbude generatorskog napona i struje u sistemu sve dok se ne uspostavi ravnoteža između polja brzine i diferencijalnih namota. Ručica za upravljanje brzinom ujedno djeluje na predotpor i prema smanjivanju brzine postepeno ga isključuje povećavajući napon namota, čime se kompenzira geometrijsko smanjivanje polja strujnog namota.

Za ovaj sistem je karakteristično da generatorski napon i brzina vrtnje motora naglo padnu pošto je postignuto puno opterećenje. Maksimalna struja, i kad motor radi a brod je vezan



Sl. 45. Gubici prenosa kod pogona kolutnim induktijskim motorom.  $P_p$  snaga na propeleru,  $P_g$  gubici snage

sinhronog propellerskog motora. Nedostatak je ovog sistema da generatori kad im se prekine uzbuda više ne mogu raditi sinhrono. Zbog toga se sinhroni generatori izrađuju kao dvostruki strojevi

ili usidren, iznosi svega 150% nazivne, čime je generator zaštićen od preopterećenja. Trofazno-istosmjerni sistem je osobito prikladan za remorkere, trajekte, bagere, ledolomce, oceanske brodove, brodove za spasavanje i ribarske brodove.

LIT.: *J. F. Piper*, Marine electrical installation, New York 1943. — *S. N. Le Count*, Practical marine electricity, New York 1945. — *W. Krebs*, Elektrotechnik auf Schiffen, Leipzig 1954. — *H. J. Kossak, A. Wangerin*, Elektrotechnik auf Handelsschiffen, Berlin 1956. — *G. O. Watson*, Marine electrical practice, London 1957. — *W. Polonski*, Elektrische Antriebe auf Schiffen, Berlin 1958. — *I. R. Freydon*, Судовые электромеханизмы, Ленинград 1958. — *Б. И. Норицкий, И. А. Тарасьев*, Судовые электрические станции и сети, Москва 1958. — *В. И. Поленский*, Гребные электрические установки, Москва 1958. — *В. Л. Пычковский*, Электрическое оборудование и электродвижение судов, Москва, 1960. — *Г. С. Яковлев*, Судовые электроэнергетические системы, Ленинград 1961. — *И. И. Галеч*, Судовые электрические установки управления, Ленинград 1962. — *Ю. В. Глонгин, П. К. Коробов, Э. Т. Марков, П. А. Мещанинов*, Электрооборудование и электродвижение судов, Ленинград 1963.

K. Jakovlić

**BROJILA, ELEKTRIČKA**, instrumenti koji služe za integriranje neke fizikalne veličine električkim putem. Namijenjena su najčešće integriraju električke snage radi registriranja električke energije koju u određenom razdoblju prodava električne energije predaje potrošaču, ali se upotrebljavaju i za integriranje drugih fizikalnih veličina, npr. jakosti struje i vremena, bilo u istu svrhu ili u drugu. U ovom članku bit će govora uglavnom samo o električkim brojilima kao instrumentima za registriranje potroška električke energije.

**Podjela brojila.** Brojila potroška električke energije mogu se podijeliti kako je navedeno u nastavku.

Prema vrsti električke struje brojila mogu biti za istosmjernu i za izmjeničnu struju. Brojila za izmjeničnu struju mogu biti jednofazna ili trofazna.

Prema registriranoj energiji razlikuju se brojila djelatnog potroška, brojila jalovog ili reaktivnog potroška, brojila prividnog potroška i brojila mješovitog potroška. Velika većina brojila u električkim mrežama jesu brojila djelatnog potroška, pa se podrazumijeva da je riječ o takvom brojilu kad se govori naprosto o električkom brojilu. Potrošak električke energije u istosmjernom sistemu sa dva vodiča ima vrijednost

$$W = \int_0^t U I dt, \quad (1)$$

gdje je  $U$  električki napon između ta dva vodiča,  $I$  jakost struje koja prolazi kroz vodiče,  $t$  vrijeme. Djelatni potrošak jednofazne struje sa dva vodiča, u slučaju da su napon i struja čiste sinusne veličine, ima vrijednost

$$W = \int_0^t U I \cos \varphi dt, \quad (2)$$

gdje je  $U$  efektivna vrijednost jednofaznog napona,  $I$  efektivna jakost jednofazne struje u vodičima, a  $\cos \varphi$  faktor snage.

Prema jedinici veličine koju registriraju razlikuju se vatsatna (voltampersatna, varsatna), ampersatna, vremenska, amperkvadratsatna i voltkvadratsatna brojila. Zbog promjenljivosti napona i jakosti struje  $I$  moralo bi po pravilu svako brojilo imati bar po jedan mjerni element koji će reagirati na promjene napona (*naponski mjerni element*) i na promjene jakosti struje (*strujni mjerni element*). Naponski i strujni mjerni elementi treba da su povezani u jednu cjelinu — mjerni sistem — tako da brojilo integrira umnožak struje i napona, uzimajući u obzir eventualni fazni pomak između njih, tj. faktor snage  $\cos \varphi$ , dakle integrira djelatnu snagu u skladu s jednadžbama (1) i (2) i registrira električki potrošak u vatsatima ili — najčešće — u kilovatsatima. Takva se brojila stoga nazivaju *vatsatima*. Budući da se prividni potrošak običava mjeriti u voltampersatima (VAh), a jalovi potrošak u reaktivnim voltampersatima (VArh, »varsatima«) brojila prividnog potroška nazivaju se i *voltampersatima* a brojila jalovog potroška *varsatima*. — Ako se može pretpostaviti da napon ili jakost struje ne mijenjaju vrijednost za vrijeme registriranja, može se konstrukcija električkog brojila znatno pojednostavniti, jer u tom slučaju brojilo može da ima samo jedan mjerni element, naponski odnosno strujni. Brojilo, dakle, integrira jakost električke struje i registrira proteklu količinu elektriciteta u ampersatima ili umnožak struje s konstantnim pretpostavljenim naponom, prema jednadžbi (1), koja s konstantnim  $U$  postaje  $W = U \int I dt$ . U oba slučaja

tačko se brojilo prema jedinici faktički integrirane veličine zove *ampersatno*. Ampersatna brojila primjenjuju se u praksi samo za mjerjenje potroška istosmjerne struje, ali su takva brojila izvedena i za izmjeničnu struju. — Može li se pretpostaviti da je konstantan ne samo napon nego također jakost struje i faktor snage  $\cos \varphi$ , brojilo će integrirati samo vrijeme pa se naziva *vremensko brojilo*. Takva brojila upotrebljavaju se za registriranje vremena kroz koje su bili uključeni neki električki aparati, npr. sušionice, frižideri, liftovi, električne peći itd. To trajanje izražavaju u satima, pa se u tom slučaju nazivaju *brojila pogonskih sati*. Vremenska brojila mogu registrirati i potrošak energije prema jednadžbi

$$W = U I \cos \varphi \int dt.$$

Naponski i strujni elementi brojila mogu se spojiti također bilo u seriju, tako da kroz njih teče ista struja, ili paralelno, na isti napon. Brojilo će tada registrirati amperkvadratsate odn. voltkvadratsate, pa se naziva *amperkvadratsatno* odn. *voltkvadratsatno*. Amperkvadratsatna brojila primjenjuju se u novije vrijeme sve više kao *brojila gubitaka u bakru* za registriranje gubitaka u obliku Joulove topoline u dalekovodima i vodičima strojeva, aparatova i transformatora. Obično se izvode s jednim mjernim sistemom jer se pretpostavlja da je opterećenje simetrično u svim fazama. Ne može li se to pretpostaviti, treba amperkvadratsatno brojilo izvesti sa tri mjerna sistema. Voltkvadratsatna brojila upotrebljavaju se — razmjerne rijetko — kao *brojila gubitaka u željezu*; ti se gubici pojavljuju zbog magnetiziranja u praznom hodu strojeva i transformatora, a razmjerne su s kvadratom napona. Obično se može pretpostaviti da je napon konstantan, pa se gubici u željezu registriraju vremenskim brojilom.

Da bi se električka energija mogla ispravno mjeriti, po pravilu mora svaki vodič električke mreže biti priključen na brojilo. Prema broju vodiča električke mreže nazivaju se vatsatna brojila odredena za priključak na istosmjerne ili jednofazne dvovodne sisteme *dvo-vodnima* (moraju imati bar 4 stezaljke), brojila za priključak u trovodne istosmjerne sisteme ili na trofaznu trovodnu mrežu *trovodnima*, a brojila za priključak na trofaznu četverovodnu mrežu *četverovodnima*. Brojilo za dvovodne električke sustave mora imati bar jedan mjerni sistem (sastavljen od naponske i strujne staze), brojilo za trovodne bar dva, a za četverovodne bar tri mjerna sistema. Kad se želi naročito istaknuti koliko mjernih sistema brojilo ima, govori se o *jednosistemskom*, *dvosistemskom* i *troisistemskom* brojilu.

Prema konstrukciji razlikuju se *motorna*, *elektrolitska* i *elektromehanička* brojila. Motorna brojila mogu biti *magnetomotorna* (s rotorom koji ima namot i rotira u magnetskom polju trajnog magneta), *elektrodinamička* (s rotorom koji ima namot i rotira u magnetskom polju nepomičnog svitka) i *indukcijska* (s kratko spojenim rotorom koji rotira u okretnom polju dvaju elektromagneta). Magnetomotorna brojila mogu se upotrijebiti samo za priključak na istosmjernu struju, elektrodinamička za istosmjernu i izmjeničnu, a induksijska samo za izmjeničnu struju. Elektrolitsko brojilo temelji se na prvom Faradayevom zakonu koji kaže da su elektrolitskim putem izlučene količine tvari razmjerne jakosti struje i trajanju njenog prolaska, tj. količini elektriciteta koji prolazi elektrolitom. Ta brojila nemaju naponske staze, nego mjeru samo promjene jakosti struje (tj. reagiraju samo na njih) i jakost struje integriraju te registriraju količine elektriciteta izražene u ampersatima. U elektrolitskim brojilima sa životom služi kao elektrolit otopina živinog i kalijevog jodida, a u brojilima s vodikom razrijeđena fosforna kiselina. Elektrolitska brojila mogu se izravno primjeniti samo za mjerjenje u sustavima istosmjene struje. Elektromehanička brojila (npr. s vjetrenjačom i polugom poput sablje) imaju danas samo historijsko značenje.

Oznake propisane od službe kontrole mjera jesu u nas ove: »A« za motorsku ampersatnu brojila, »D« za elektrodinamička, »E« za elektrolitska i »F« za induksijska. Sa »B« označena su daljinska brojila. Iza oznake slovom, na označenoj ploči svakog odobrenog tipa brojila stoji broj koji označuje redni broj odobrenja u vezi s fabrikatom i tipom brojila, odn. s brojem mjernih sustava (npr. F 104).

Prema načinu priključenja na električku mrežu razlikuju se brojila za izravan priključak na mrežu, transformatorska i reduktorska brojila. Naponske staze brojila izmjenične struje izvode se