



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Materiały dydaktyczne

Elektrotechnika okrętowa

Semestr V

Wykłady



Temat I (16 h) Wytwarzanie energii elektrycznej na statku

Zagadnienia :

- A. Wymagania ogólne i warunki zainstalowania na statkach głównych i awaryjnych źródeł energii elektrycznej
- B. Okrętowe prądnice synchroniczne :
 - a) zasada działania, rodzaje budowy i napędu,
 - b) charakterystyki i parametry eksploatacyjne,
 - c) rodzaje układów wzbudzenia, ich struktura i właściwości,
 - d) zasady budowy i rodzaje regulatorów napięcia,
 - e) stabilizacja częstotliwości,
 - f) wymagania Instytucji Klasyfikacyjnych.
- C. Praca równoległa okrętowych prądnic synchronicznych :
 - a) warunki i sposoby synchronizacji,
 - b) rozdział obciążeń czynnych i biernych między prądnice pracujące równoległe,
 - c) wymagania Instytucji Klasyfikacyjnych.
- D. Zabezpieczenia okrętowych prądnic synchronicznych pracujących samotnie i równoległe. Wymagania Instytucji Klasyfikacyjnych.
- E. Okrętowe prądnice synchroniczne – wałowe:
 - a) rodzaje i sposoby połączeń z wałem śrubowym,
 - b) układy stabilizacji napięcia i częstotliwości oraz praca równoległa z zespołami prądotwórczymi wolno-stojącymi,
 - c) wymagania Instytucji Klasyfikacyjnych.
- F. Awaryjne źródła energii i instalacje elektryczne na statkach :
 - a) awaryjne zespoły prądotwórcze,
 - b) baterie akumulatorów kwasowych , zasadowych i bezobsługowych,
 - c) wymagania Instytucji Klasyfikacyjnych.

Zagadnienie I.A Wymagania ogólne i warunki zainstalowania na statkach głównych i awaryjnych źródeł energii elektrycznej

1. Na każdym statku należy przewidzieć główne (podstawowe) źródło energii elektrycznej o mocy wystarczającej do zasilania wszystkich niezbędnych urządzeń elektrycznych w następujących warunkach pracy:
 - jazda na morzu ;
 - manewry, jazda w wąskich przejściach /fiordy, kanały/;
 - postój na redzie i w porcie – załadunek i wyładunek;
 - przypadek pożaru, przebicia kadłuba lub innego zagrożenia bezpieczeństwa statku;
 - inne zgodnie z przeznaczeniem statku.
2. Główne źródło energii elektrycznej powinno się składać, z, co najmniej dwóch prądnic z własnym niezależnym napędem.



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

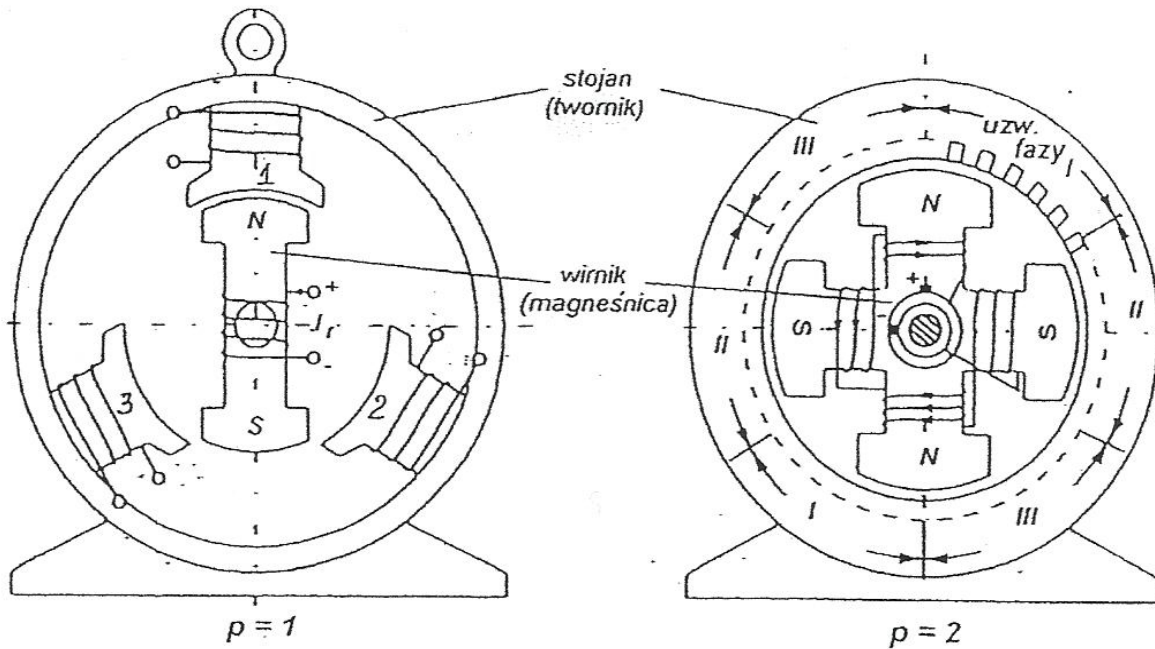
3. Liczba i moc zespołów prądotwórczych oraz przetwornic energetycznych wchodzących w skład głównego źródła energii elektrycznej powinna być taka, aby po wypadnięciu z pracy jednego z nich pozostałe zapewniały możliwość:
 - zasilania ważnych urządzeń we wszystkich warunkach pracy przy jednoczesnym zapewnieniu minimalnych warunków socjalno-bytowych dla załogi;
 - uruchomienie silnika z największym prądem rozruchowym i najcięższym rozruchem, bez nadmiernego obniżenia napięcia i częstotliwości powodujących zatrzymanie SG, albo odłączenie pracujących maszyn i aparatów;
 - zasilania urządzeń elektrycznych niezbędnych do rozruchu głównego układu napędowego.
4. Na każdym statku z własnym napędem należy zainstalować niezależne, awaryjne źródło energii elektrycznej.
5. Awaryjnym źródłem energii elektrycznej może być prądnica z niezależnym napędem lub bateria akumulatorów.
6. Moc awaryjnego źródła energii elektrycznej powinna być wystarczająca do zasilania wszystkich odbiorników, których jednoczesna praca jest wymagana dla zapewnienia bezpieczeństwa w czasie awarii.

Zagadnienie I.B Okrętowe prądnice synchroniczne.

Prądnice synchroniczne są najważniejszym źródłem głównej i awaryjnej energii elektrycznej prądu trójfazowego na współczesnych statkach.

I.Ba) Zasada działania, rodzaje budowy i napędu.

1. Prądnica synchroniczna składa się ze stojana stanowiącego nieruchomą konstrukcję nośną i zawieszzonego na łożyskach wirnika, jako ruchomej części maszyny.
2. Wewnątrz stojana zainstalowany jest cylindryczny rdzeń wykonany z pakietu izolowanych blach z materiału ferromagnetycznego o dobrej przewodności magnetycznej.
3. Rdzeń magnetyczny stojana posiada żłobki, w których są symetrycznie rozmieszczone uzwojenia trzech faz, które można łączyć w gwiazdę lub w trójkąt.
4. Tak skonstruowany stojan prądnicy synchronicznej nazywa się twornikiem.
5. Ułożyskowany ruchomy wirnik prądnicy synchronicznej posiada bieguny wykonane z materiału ferro-magnetycznego, na których nawinięte jest jedno uzwojenie zasilane prądem stałym i nazywa się uzwojeniem wzbudzenia prądnicy.



Rys.1 Modele dwóch prądnic synchronicznych trójfazowych, pierścieniowych prądu przemiennego, z magneśnicami o liczbie par biegunów $p=1$ i $p=2$

6. Pole magnetyczne wytwarzane przez prąd wzbudzenia magneśnicy jest polem głównym maszyny o stałym kierunku względem wirnika, a po nadaniu wirnikowi określonej prędkości obrotowej staje się polem wirującym.
7. Magnetyczne pole wirujące indukuje w trzech uzwojeniach stojana, sinusoidalne siły elektromotoryczne E , przesunięte względem siebie o kąt fazowy równy $1/3$ okresu czyli $(2\pi/3)$, a których wartości chwilowe wynoszą:

$$e = E_m \sin \omega t \quad \text{gdzie pulsacja} \quad \omega = 2\pi f \quad (1)$$

8. Wielkości sił elektromotorycznych E zależą od strumienia wzbudzenia Φ oraz prędkości obrotowej n :

$$E = c_e \Phi n \quad (2)$$

9. Napięcia fazowe na zaciskach prądnicy obciążonej są mniejsze od odpowiednich sił elektromotorycznych E o spadki napięć na impedancjach wewnętrznych prądnicy i wynoszą:

$$u = U_m \sin \omega t \quad (3)$$

10. Częstotliwość napięcia i prądu wytwarzanego w prądnicy można określić ze wzoru na prędkość obrotową, która tę częstotliwość wymusza:

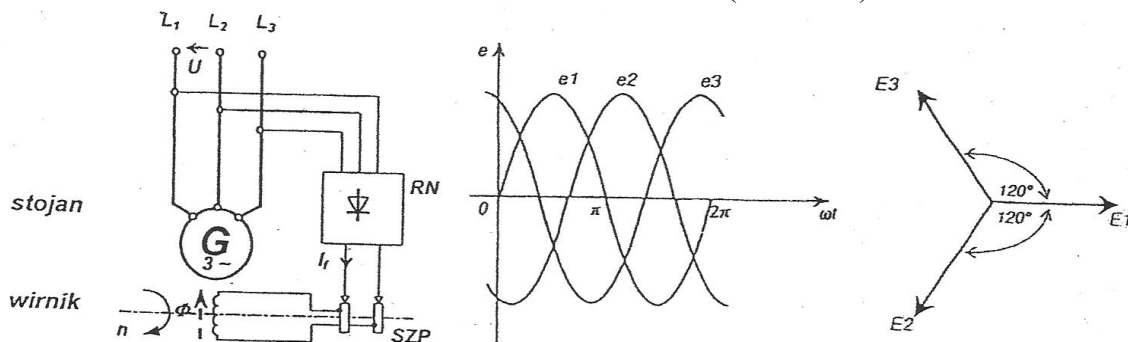
$$f = \frac{p n}{60} \quad (4)$$



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

11. Z powyższej zależności wynika, że dla uzyskania z prądnicy synchronicznej napięcia o żądanej częstotliwości, należy nadać wirnikowi prądnicy o danej ilości par biegunów odpowiednią prędkość obrotową.
12. Na statkach mają zastosowanie następujące rodzaje napędów prądnic synchronicznych:
 - a) turbogeneratory ($p = 1$) - napędy za pomocą własnych turbin parowych lub gazowych;
 - b) diesel-generatory ($p = 2 - 6$) - napędy własnymi silnikami spalinowymi, tłokowymi;
 - c) shaft-generatory ($p = 2 - 6$) - napędy od wałów śrubowych głównych silników okrętowych poprzez przekładnie zębate lub pasowe.
13. Wirniki okrętowych prądnic synchronicznych buduje się w dwóch głównych wersjach konstrukcyjnych:
 - a) wirniki o wydatnych /jawnych/ biegunach;
 - b) wirniki cylindryczne z biegunami utajonymi.
14. Źródłem prądu stałego, zasilającym magneśnicę prądnicy synchronicznej, regulowanym prądem wzbudzenia jest regulator napięcia RN, którego elementem wykonawczym jest zazwyczaj, prostownik sterowany.
15. Regulator napięcia RN może być zasilany napięciem wytwarzanym przez własną prądnicę (prądnicą samowzbudną), lub napięciem z obcego źródła energii elektrycznej (prądnicą obcowzbudną). Okrętowe prądnice synchroniczne buduje się, jako samowzbudne.
16. Prąd wzbudzenia, z nieruchomego regulatora napięcia RN jest dostarczany do ruchomej magneśnicy za pomocą dwóch złączy pierścieni-szczotka SZP i wtedy maszyna nazywa się prądnicą synchroniczną pierścieniową.

$$\begin{aligned} e_1 &= E_{m1} \sin \omega t \\ e_2 &= E_{m2} \sin(\omega t - 2/3\pi) \\ e_3 &= E_{m3} \sin(\omega t + 2/3\pi) \end{aligned} \quad (5)$$



Rys.2 Uproszczony schemat prądnicy synchronicznej, pierścieniowej oraz przebiegi sił elektromotorycznych i ich wykres wskazowy.

I.Bb) Charakterystyki i parametry eksploatacyjne

1. Zjawiska zachodzące w prądnicie synchronicznej oraz jej właściwości eksploatacyjne można poznać analizując charakterystyki określające jej stany pracy.
2. Do najważniejszych charakterystyk określających pracę prądnicy synchronicznej należą :
 - a) **charakterystyka biegu jałowego** (magnesowania), która jest zależnością napięcia



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

na zaciskach prądnicy U od jej prądu wzbudzenia I_f – rys.3a

$U = f(I_f)$ przy prądzie obciążenia $I = 0$ oraz częstotliwości $f = \text{const}$

- charakterystyka magnesowania zaczyna się od napięcia szczytkowego ($U_{sz} = 10 - 15V$) powstającego z magnetyzmu szczytkowego; napięcie to umożliwia i zaczyna proces samowzbudzenia prądnicy,
- kształt charakterystyki magnesowania wiąże się z krzywą magnesowania „żelaza” w prądnicy (pętla histerezy),

b) **charakterystyka zewnętrzna** jako zależność napięcia U wytworzonego przez prądnicę od prądu obciążenia I - rys.4b.

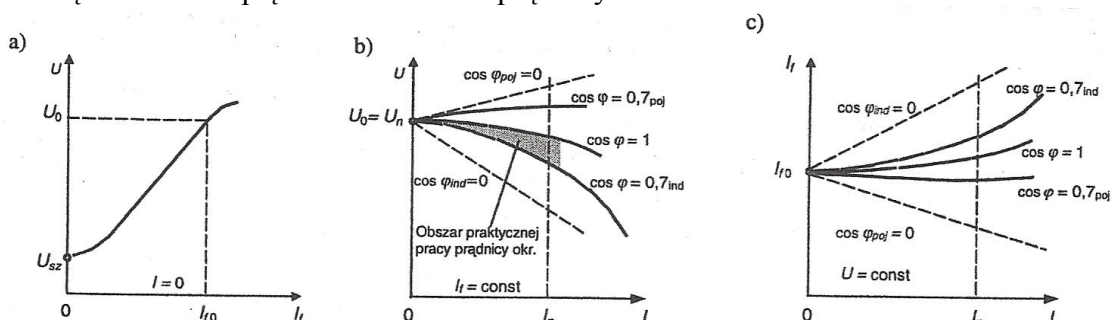
$U = f(I)$ przy : - prądzie wzbudzenia $I_f = \text{const}$
- częstotliwości $f = \text{const}$
- współczynnika mocy $\cos\varphi = \text{const}$

- kształt charakterystyki zewnętrznej zależy od wielkości prądu obciążenia I , a także od współczynnika mocy $\cos\varphi$, czyli od wielkości i charakteru obciążenia,
- zmiany napięcia prądnicy w zależności od charakteru obciążenia wiążą się z t.zw oddziaływaniem twornika, które polega na wytwarzaniu pola magnetycznego przez prądy obciążenia płynące w trzech fazach twornika, a to pole magnetyczne wpływa na wielkość głównego pola magnetycznego wytwarzanego przez magneśnicę,
- analiza charakterystyk zewnętrznych prowadzi do wniosku, że praca okrętowej prądnicy synchronicznej jest niemożliwa bez automatycznego, szybkiego i pewnego w działaniu regulatora napięcia, który umożliwi spełnienie wymagań przepisów PRS dotyczących parametrów eksploatacyjnych prądnicy w różnych stanach pracy,

c) **charakterystyka regulacyjna** to zależność prądu wzbudzenia prądnicy I_f od jej prądu obciążenia I – rys.4c.

$I_f = f(I)$ przy : - napięciu na zaciskach prądnicy $U = \text{const}$
- częstotliwości $f = \text{const}$
- współczynnika mocy $\cos\varphi = \text{const}$

charakterystyki regulacyjne dla różnych współczynników mocy $\cos\varphi$ dają odpowiedź na pytanie, w jaki sposób należy regulować prąd wzbudzenia magneśnicy, aby utrzymać stałą wielkość napięcia na zaciskach prądnicy.

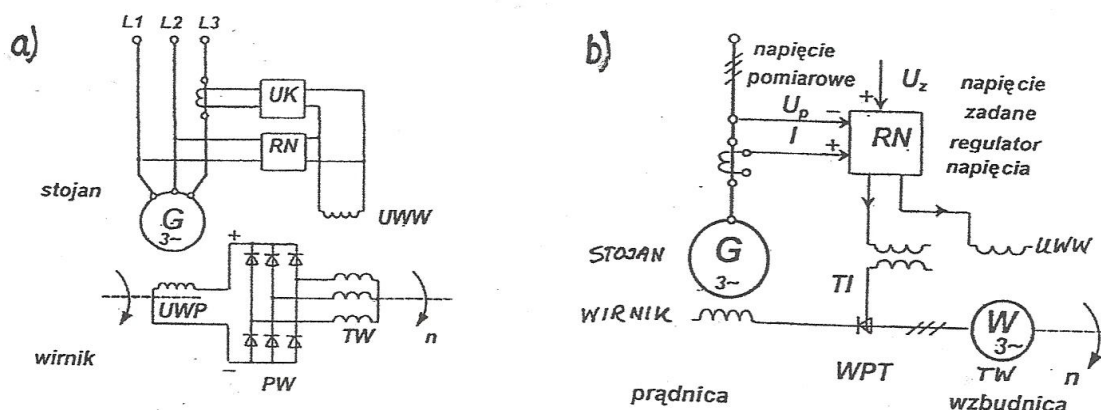


Rys.3 Najważniejsze charakterystyki prądnicy synchronicznej: a) biegu jałowego , b) zewnętrzne , c) regulacyjne, U_{sz} – napięcie szczytkowe, U_0 - napięcie biegu jałowego, U_n – napięcie znamionowe, I_{f0} - znamionowy prąd wzbudzenia przy biegu jałowym, I_n – znamionowy prąd obciążenia



I.Bc Rodzaje układów wzbudzenia, ich struktura i właściwości.

1. Okrętowe prądnice synchroniczne, samowzbudne, pierścieniowe posiadają zasilanie uzwojenia wzbudzenia z automatycznego regulatora napięcia poprzez dwa zestyki ślizgowe pierścieni – szczotka.
2. Regulator napięcia prądnicy synchronicznej pierścieniowej usytuowany jest poza prądnicą, zazwyczaj w GTR / w polu danej prądnicy/.
3. Okrętowe prądnice synchroniczne bezszczotkowe samowzbudne są nowszym rozwiązaniem konstrukcyjnym posiadającym zupełnie odmienny sposób zasilania magneśnicy, bez zastosowania zestyków ślizgowych pierścieni-szczotka.
4. Stojan /twornik/ tej prądnicy jest identycznej budowy jak w prądnic pierścieniowej, a wirnik ma podobną tylko magneśnicę, natomiast zasilanie jej prądem stałym jest zupełnie odmienne.
5. Prądnica synchroniczna bezszczotkowa posiada wmontowaną wzbudnicę, która jest pomocniczą prądnicą synchroniczną wytwarzającą trójfazowe przemienne napięcie i którym po wyprostowaniu zasila magneśnicę prądnicy głównej.
6. Wirujący prostownik trójfazowy może być wykonany z diód prostowniczych i wtedy regulacja prądu wzbudzenia magneśnicy odbywa się w sposób pośredni poprzez regulację prądu wzbudzenia w UWW, co należy do zadań regulatora napięcia prądnicy.
7. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie w prądnic synchronicznej, bezszczotkowej wirującego prostownika trójfazowego wykonanego z tyrystorów, co pozwala na bezpośrednią regulację wyprostowanego prądu wzbudzenia magneśnicy i znacznie poprawia dynamikę układu wzbudzenia prądnicy.
8. Dodatkowym problemem w tym rozwiązaniu jest przekazywanie sygnałów sterujących na bramki wirujących tyrystorów z części nieruchomych maszyny. Impulsy wyzwalające do tyrystorów doprowadza się bezstykowo za pomocą specjalnych transformatorów impulsowych.



Rys .4 Uproszczone schematy zasilania uzwojeń wzbudzenia prądnic synchronicznych bezszczotkowych : a) z wirującym prostownikiem diodowym b) z wirującym prostownikiem tyrystorowym



9. Okrętowe prądnice synchroniczne bezszczotkowe stanowią jedną kompletną całość wraz z układami zasilania wzbudnicy i stabilizacji wytworzonego napięcia. Elektroniczny regulator napięcia zamontowany jest zazwyczaj w skrzyni podłączeniowej prądnicy.

I.Bd Zasady budowy i rodzaje regulatorów napięcia.

1. Podstawowym zadaniem okrętowej prądnicy synchronicznej jest: wytworzenie i utrzymanie napięcia na wymaganym poziomie, podczas zmieniającego się w eksploatacji obciążenia.
2. Obciążenie to w warunkach okrętowych może się zmieniać w sposób statyczny i najczęściej w sposób dynamiczny. Zazwyczaj w sposób szybki zmienia się wielkość obciążenia i jego charakter.
3. Regulator napięcia jest urządzeniem, które w sposób szybki i dokładny / podążający za zmieniającym się obciążeniem / wypracowuje odpowiedni prąd wzbudzenia potrzebny do podtrzymania znamionowego napięcia prądnicy w granicach określonych przepisami towarzystw klasyfikacyjnych np. PRS.
4. W skład współczesnego układu wzbudzenia okrętowej prądnicy synchronicznej zazwyczaj wchodzi:
 - a) prostownik sterowany, który jest elementem wykonawczym wytwarzającym w sposób bezpośredni odpowiedni prąd wzbudzenia dla magneśnicy pod wpływem sygnału wypracowanego przez regulator napięcia.
 - b) regulator napięcia wypracowuje sygnał wyjściowy dla elementu wykonawczego, na podstawie otrzymanych sygnałów informacyjnych takich jak :
 - proporcjonalne sygnały prądowe z przekładników prądowych, które podają informacje o wielkości obciążeń w trzech fazach prądnicy;
 - sygnały napięciowe, które podają informacje o aktualnej wartości napięć prądnicy;
 - stabilizowany sygnał napięcia odniesienia;
 - sygnał z korektora mocy biernej /dotyczy prądnic przeznaczonych do pracy równoległej/.

I.Be Stabilizacja częstotliwości

1. Częstotliwość jest jednym z głównych parametrów energii elektrycznej wytwarzanej przez okrętową prądnicę synchroniczną i zależy bezpośrednio od prędkości obrotowej nadawanej wirnikowi prądnicy przez jej zespół napędowy.
2. Utrzymanie częstotliwości na wymaganym poziomie podczas pełnych zakresów obciążeń statycznych i dynamicznych wiąże się z utrzymaniem odpowiedniej prędkości obrotowej zespołu napędowego, czyli od jego charakterystyki mechanicznej: $n = f (M)$.
3. Stabilność prędkości obrotowej zespołu napędowego ma bezpośredni wpływ nie tylko na częstotliwość napięcia wytwarzanego przez prądnicę, ale również na wielkość tego napięcia.
4. Zapewnienie stabilnej prędkości obrotowej wirnikowi prądnicy zależy od :
 - a) rodzaju zespołu napędowego,
 - b) rodzaju i jakości układu regulacji prędkości obrotowej.
5. Najpowszechniejszym napędem indywidualnym okrętowej prądnicy synchronicznej jest tłokowy silnik spalinowy, którego możliwości utrzymania stabilnej prędkości obrotowej zależą od :



- rodzaju i jakości regulatora prędkości obrotowej;
- wielkości znamionowej prędkości obrotowej: 500, 600, 750, 1000, 1500 obr/min, przy częstotliwości 50 Hz /;
- rodzaju i jakości konstrukcji / układ i liczba cylindrów, momenty bezwładnościowe mas wirujących, układ paliwowy, zapłonowy i zasilania powietrzem itp./;
- rodzaju zastosowanego paliwa;
- aktualnego stanu technicznego i zapewnienia prawidłowej obsługi i eksploatacji.

I.Bf Wymagania Instytucji Klasyfikacyjnych.

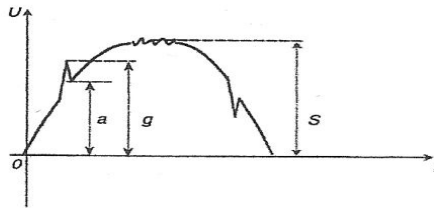
1. Zespoły prądotwórcze powinny być obliczone na pracę ciągłą z uwzględnieniem spadku mocy w czasie eksploatacji statku w warunkach morskich / narażenia klimatyczne /.
2. Każda prądnica prądu przemiennego powinna posiadać oddzielny, niezależny układ do samoczynnej regulacji napięcia.
3. Prądnice prądu przemiennego powinny mieć układ regulacji napięcia tak dopasowany do charakterystyk regulacyjnych silników napędowych, aby przy zmianach obciążenia od biegu jałowego do obciążenia znamionowego, przy znamionowym współczynniku mocy, utrzymywane było napięcie znamionowe z tolerancją do $\pm 2,5\%$ (w przypadku zespołów awaryjnych do $\pm 3,5\%$). Dla prądnic podstawowych dopuszczalne jest utrzymanie stałości napięcia w granicach $\pm 3,5\%$ wartości znamionowej przy zmianach współczynnika mocy w zakresie 0,6 do 0,9, z wyjątkiem współczynnika znamionowego. Powyższe wymaganie dotyczy pracy zespołu prądotwórczego przy znamionowej prędkości obrotowej i znamionowym obciążeniu prądnicy.
4. Nagła zmiana symetrycznego obciążenia prądnicy pracującej ze znamionową liczbą obrotów i przy znamionowym napięciu oraz przy istniejącym obciążeniu i współczynniku mocy, nie powinna powodować obniżenia napięcia do wartości niższej niż 85%, ani podwyższenia do wartości wyższej niż 120% napięcia znamionowego. Po takiej zmianie napięcie prądnicy powinno być po upływie czasu nie dłuższego niż: 1,5 sekundy przywrócone do wartości znamionowej z tolerancją do $\pm 3\%$. Dla zespołów awaryjnych wartości te mogą być zwiększone do $\pm 4\%$ napięcia znamionowego oraz do 5 sekund.
5. Układy regulacji prędkości obrotowej silników napędowych prądnic prądu przemiennego powinny być takie, aby w całym zakresie obciążenia statycznego wahania częstotliwości nie przekraczały:

$$\Delta f_{\text{stat}} = \pm 5\% f_n$$

a, przy dynamicznych zmianach obciążenia:

$$\Delta f_{\text{dyn}} = \pm 10\% f_n$$

- Czas regulacji do częstotliwości znamionowej nie powinien przekraczać 5 sekund
6. Dopuszczalny poziom zniekształceń sinusoidy napięcia wytwarzanego przez okrętową prądnicę synchroniczną nie powinien przekraczać 5% jej amplitudy. $(g - a) \leq 0,05 S$.



Rys.5 Wpływ zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez prostowniki tyrystorowe i diodowe na kształt krzywej napięcia.

Zagadnienie I.C Praca równoległa okrętowych prądnic synchronicznych.

- Na każdym statku konwencyjnym, główne źródło energii elektrycznej powinno się składać z minimum dwóch samodzielnych i niezależnych od siebie zespołów prądotwórczych.
- W zależności od rodzaju i wielkości statku oraz elektrycznej mocy zainstalowanej, elektrownia okrętowa może składać się z wielu zespołów prądotwórczych o jednakowych lub różnych mocach znamionowych.
- W celu odpowiedniej gospodarki energią elektryczną w różnych warunkach eksploatacji statku, konieczna jest praca równoległa prądnic, a ich liczba jest zależna od zapotrzebowania na energię elektryczną w danej sytuacji.

I.Ca Warunki i sposoby synchronizacji

1. Dla załączenia okrętowej prądnicy synchronicznej do pracy równoległej z inną prądnicą zasilającą aktualnie elektryczną sieć okrętową, należy przeprowadzić operację zwaną synchronizacją.
2. Dla przeprowadzenia synchronizacji potrzebne są odpowiednie urządzenia i aparatura kontrolno-sterująca, odpowiednie kwalifikacje synchronizującego oraz ścisłe spełnienie wszystkich warunków synchronizacji.
3. Warunki synchronizacji:
Warunek ogólny synchronizacji polega na doprowadzeniu do takiego stanu, w którym napięcia chwilowe w odpowiadających sobie fazach obu prądnic są sobie równe:

$$\begin{array}{l} u_I = u_{II} \quad \text{czyli} \quad U_{Im} \sin \omega_I t = U_{II m} \sin \omega_{II} t \\ \text{gdzie} \quad \omega_I = 2 \pi f_I \quad \text{oraz} \quad \omega_{II} = 2 \pi f_{II} \end{array}$$

Z warunku ogólnego wynikają szczegółowe warunki synchronizacji:

- * **Zgodny kierunek wirowania faz obu prądnic**, co wiąże się ze zgodnością połączeń faz:

$$R_I \leftrightarrow R_{II} \quad S_I \leftrightarrow S_{II} \quad T_I \leftrightarrow T_{II}$$

Warunek ten jest realizowany i sprawdzany przy montażu prądnic na statku, przed pierwszym rozruchem oraz po przeprowadzonym remoncie.

W czasie normalnej eksploatacji załoga tego warunku nie sprawdza.



* **Równość napięć maksymalnych obu prądnic** (a tym samym napięć skutecznych):

$$U_{Im} = U_{IIm} \quad \text{oraz} \quad U_{I1} = U_{I2}$$

Warunek ten spełnia automatyczny regulator napięcia i załoga nie musi dokonywać regulacji (nie dotyczy to stanów awaryjnych).

Sprawdzanie tego warunku za pomocą woltomierzy obu synchronizowanych prądnic w polu synchronizacji rozdzielnic głównej RG.

* **Jednakowa częstotliwość obu prądnic** (a tym samym jednakowe prędkości wirowania wektorów napięć poszczególnych faz obu prądnic):

$$f_{I1} = f_{I2} \quad \text{oraz} \quad \omega_{I1} = \omega_{I2}$$

Warunek ten spełnia automatyczny regulator obrotów silnika napędowego prądnicy.

Korekta wartości zadanej prędkości obrotowej regulatora obrotów za pomocą ręcznego zadajnika obrotów silnika napędowego w polu synchronizacji rozdzielnic głównej RG.

Kontrola częstotliwości na odpowiednich częstotłomierzach w polu synchronizacji rozdzielnic głównej RG.

* **Jednakowa wartość fazy kątowej obu prądnic** (a tym samym kąt przesunięcia między odpowiednimi wektorami napięć obu prądnic powinien być równy lub bliski zero).

$$\omega_{I1} t = \omega_{I2} t$$

Realizacja tego warunku dokonuje się poprzez impulsową regulację prędkości obrotowej silnika napędowego załączanej prądnicy za pomocą zadajnika obrotów tej prądnicy.

Kontrolę tego warunku można realizować kilkoma metodami:

- za pomocą trzech lampek kontrolnych włączonych między fazy prądnicy załączanej i odpowiednie fazy RG, (synchronizacja ręczna – „na ciemno”);
- za pomocą specjalnego woltomierza kontrolnego /z zerem na środku skali /podłączonego między fazy prądnicy i odpowiednie fazy RG;
- za pomocą trzech lampek kontrolnych włączonych między fazy prądnicy załączanej i fazy RG sposobem „ na światło wirujące”;
- dokładniejsze i pewniejsze w działaniu jest użycie przyrządu zwanego synchronoskopem /wskazówkowy , elektroniczny itp./.

4. Po spełnieniu czterech w/w warunków synchronizacji może nastąpić załączenie wybranej prądnicy synchronicznej do pracy równoległej z inną zasilającą aktualnie elektryczną sieć okrętową.
5. Na statkach morskich stosowane są zasadniczo trzy metody synchronizacji i załączania prądnic synchronicznych do pracy równoległej:
 - a) **synchronizacja i załączanie ręczne**, polegające na wykonaniu wszystkich czynności operacyjnych i kontrolnych przez jedną osobę; po spełnieniu wszystkich czterech w/w warunków synchronizacji synchronizujący podaje ręcznie sygnał do załączenia wyłącznika głównego prądnicy, załączanej do pracy równoległej ;
 - b) **synchronizacja i załączanie półautomatyczne**, polegające na wykonaniu wszystkich czynności operacyjnych i kontrolnych podobnie jak przy synchronizacji ręcznej z wyjątkiem końcowej i tej najważniejszej fazy operacji ; w tej końcowej fazie, przy spełnianiu czwartego warunku synchronizacji można dokonać tylko zgrubnej regulacji



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

/ powolne wirowanie świateł kontrolnych lub synchronoskopu / zadajnikiem obrotów i w dowolnym momencie podać sygnał załączający automatyczny synchronizator;

- c) **synchronizacja i załączanie automatyczne**, polegające na zautomatyzowaniu całego systemu pracy zespołów prądowórczych elektrowni okrętowej począwszy od rozkazu startu danego zespołu prądowórczego, poprzez automatyczne spełnienie warunków synchronizacji, do automatycznego załączenia do pracy równoległej i rozdział obciążenia;

I.Cb Rozdział obciążeń czynnych i biernych między prądnice pracujące równolegle

1. Po załączeniu prądnic synchronicznych do pracy równoległej mają one wtedy wspólną i jednakową częstotliwość wytworzonego napięcia.
2. Wielkość częstotliwości każdej prądnicy zależy bezpośrednio od prędkości obrotowej jej silnika napędowego / wzór – (4) /.
3. Jeżeli w czasie pracy równoległej prądnic będziemy zwiększać prędkość obrotową silnika napędowego jednej z nich, to uzyskamy zwiększenie częstotliwości, ale tej wspólnej należącej do obu prądnic pracujących równolegle, a objawi się to przejmowaniem większej części wspólnego obciążenia mocą czynną. Obserwować to można na miernikach do pomiaru mocy czynnej, czyli na kilowatomierzach obu prądnic.
4. Biorąc powyższe pod uwagę możemy dokonywać rozdziału obciążenia między pracujące równolegle prądnice wykorzystując zadajniki prędkości obrotowej silników napędowych tych prądnic, które są zazwyczaj zamontowane w polu synchronizacji RG.
5. Przenoszenie obciążenia czynnego podczas pracy równoległej prądnic umożliwia ich przełączanie bez zaniku napięcia na RG, a także po proporcjonalnym rozdziale mocy czynnej, pozostawienie ich w pracy równoległej.
6. Za utrzymanie proporcjonalnego rozdziału mocy czynnej prądnic pozostawionych w pracy równoległej odpowiadają regulatory prędkości obrotowej silników napędowych tych prądnic.
7. Każdy silnik napędowy posiada swoją charakterystykę mechaniczną: $n = f(M)$ która pokazuje możliwości silnika do utrzymania prędkości obrotowej w całym zakresie obciążenia.
8. Charakterystyka mechaniczna w zakresie od zerowego do znamionowego obciążenia jest zazwyczaj odcinkiem linii prostej o różnym nachyleniu:
 - większe nachylenie - większy statyzm - charakterystyka bardziej miękka;
 - mniejsze nachylenie - mniejszy statyzm - charakterystyka bardziej sztywna.
9. Kształty charakterystyk mechanicznych silników napędowych prądnic zależą od:
 - regulatorów prędkości obrotowej ;
 - rodzaju konstrukcji i jakości wykonania silnika;
 - aktualnego stanu technicznego wszystkich elementów silnika.
10. W przypadku zespołów prądowórczych tego samego typu i o jednakowych mocach znamionowych, silniki napędowe posiadają charakterystyki mechaniczne o jednakowych nachyleniach (jednakowe statyzmy).
11. W przypadku współpracy równoległej zespołów prądowórczych o różnych, ale porównywalnych mocach znamionowych /różne statyzmy charakterystyk mechanicznych/,



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

obciążenie czynne powinno być rozdzielone proporcjonalnie do ich mocy znamionowych.

12. Po załączeniu prądnic synchronicznych do pracy równoległej mają one wtedy również jedno wspólnie wytworzone napięcie.
13. Wielkość napięć wytwarzanych przez każdą prądnicę zależy bezpośrednio od jej strumienia wzbudzenia Φ a tym samym od jej prądu wzbudzenia I_f : wzór – (2).
14. Jeżeli podczas pracy równoległej, będziemy zwiększać prąd wzbudzenia na jednej z prądnic to uzyskamy zwiększenie wspólnego napięcia wytwarzanego przez obie prądnice, co możemy zaobserwować na woltomierzach tych prądnic.
15. Koszty wzrostu tego wspólnego napięcia poniesie prądnicą, której zwiększyliśmy prąd wzbudzenia, a objawia się to zwiększeniem jej obciążenia mocą bierną, co stwierdzamy na miernikach do pomiaru mocy biernej (kilovaromierze).
16. Proporcjonalny rozptył mocy biernej w prądnicach pracujących równolegle zależy, więc od ich prądów wzbudzenia, przy założeniu stałej prędkości obrotowej: $n = \text{const}$.
17. W okrętowych prądnicach synchronicznych załoga nie ma prostego dostępu do regulacji ich prądów wzbudzenia, a tym samym do regulacji napięć. W tych prądnicach całą odpowiedzialność za stabilizację napięć ponoszą automatyczne regulatory napięć.
18. Automatyczne regulatory napięć, prądnic przeznaczonych do pracy równoległej, posiadają korektory mocy biernej, które mają wpływ na prądy wzbudzenia swoich prądnic i dzięki odpowiednim połączeniom wyrównawczym ustalają proporcjonalny rozptył mocy biernej w pracujących równolegle prądnicach.
19. Rozptył mocy biernych między pracujące równolegle prądnice synchroniczne powinien być proporcjonalny do ich mocy znamionowych i ma to związek z charakterystykami zewnętrznymi tych prądnic $U = f(Q)$.

I.Cc Wymagania Instytucji Klasyfikacyjnych.

1. Charakterystyki regulatorów silników napędowych prądnic prądu przemiennego przeznaczonych do pracy równoległej powinny być takie, aby w zakresie od 20 do 100% obciążenia znamionowego, obciążenie czynne każdego z zespołów prądotwórczych nie różniło się od wartości proporcjonalnego obciążenia o więcej niż 15% znamionowej mocy czynnej największej prądnicą pracującą równolegle, lub 25% znamionowej mocy czynnej rozpatrywanej prądnic – w zależności od tego, która z tych wartości jest mniejsza. Zespoły prądotwórcze prądu przemiennego przewidziane do pracy równoległej powinny być wyposażone w urządzenie do dokładnej regulacji zmiany obciążenia w zakresie nie przekraczającym 5% mocy znamionowej przy częstotliwości znamionowej.
2. Zespoły prądotwórcze prądu przemiennego przeznaczone do pracy równoległej należy wyposażyć w taki układ kompensacji biernego spadku napięcia, aby w czasie pracy równoległej różnice w obciążeniu mocą bierną każdej prądnic nie przekraczały wartości proporcjonalnej do ich mocy o więcej niż 10% znamionowego obciążenia biernego największej prądnic, lub 25% mocy znamionowej najmniejszej prądnic – w zależności od tego, która z tych wartości jest mniejsza.



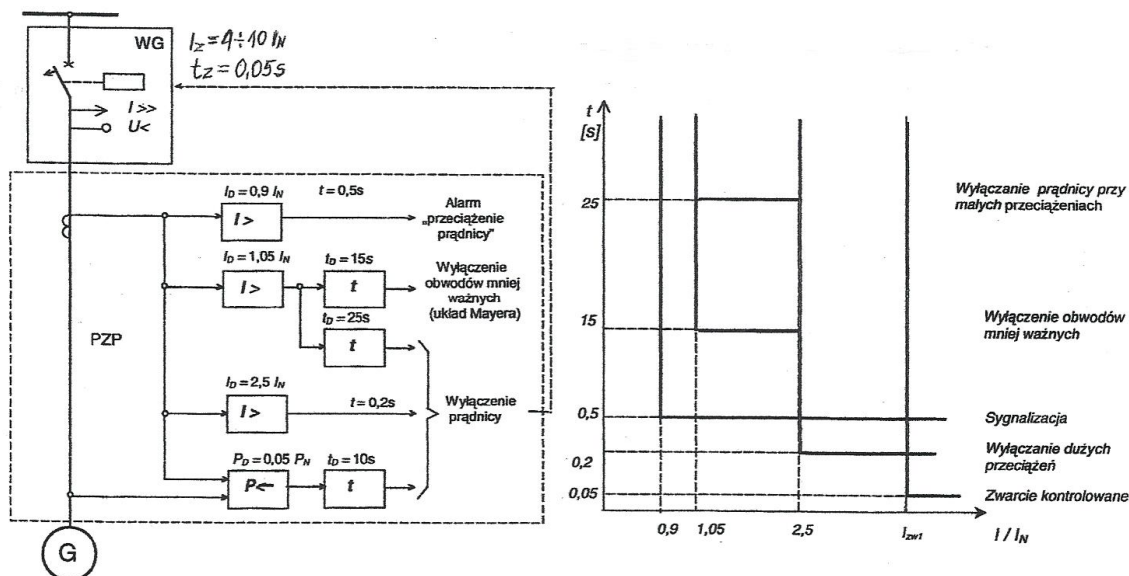
3. Przy pracy równoległej prądnic prądu przemiennego i obciążeniu w zakresie od 20 do 100% mocy znamionowej, dopuszcza się wahania wartości prądu w granicach $\pm 15\%$ wartości prądu znamionowego największej prądnicy.

Zagadnienie I.D Zabezpieczenia okrętowych prądnic synchronicznych pracujących samotnie i równoległe z innymi prądnicami.

1. Okrętowe prądnice synchroniczne nieprzeznaczone do pracy równoległej powinny być zabezpieczone przed skutkami przeciążeń i zwarc. Mogą być również wykorzystane zabezpieczenia podnapięciowe.
2. Okrętowe prądnice synchroniczne nie posiadają zabezpieczeń przed zwarciami doziemnymi / do kadłuba statku / ze względu na bardzo małe prądy takich zwarc. Ochronę przed tymi zwarciami stanowi ogólna sygnalizacja kontrolna rezystancji izolacji, która w przypadku doziemienia w elektrycznej sieci okrętowej, uruchamia sygnał optyczny i dźwiękowy nie wyłączając jednak żadnego urządzenia i również prądnicy.
3. Szczególnym i częstym wykorzystaniem samotnej pracy prądnicy synchronicznej jest jej zastosowanie-jako awaryjne źródło energii elektrycznej na statku.
4. Awaryjna prądnica synchroniczna posiada zabezpieczenia przed zwarciami, przeciążeniami i podnapięciami, przy czym wyłączenia prądnicy może dokonać tylko zabezpieczenie zwarciove (4 –10) In. Pozostałe zabezpieczenia włączają tylko sygnalizację ostrzegawczą.
5. Do załączania i wyłączania prądów roboczych, przeciążeniowych i zwarciowych przeznaczone są samoczynne wyłączniki zwarciove. Okrętowe wyłączniki zwarciove budowane są na prądy znamionowe do 4000A i zwarciove do 200 kA, a na statkach nazywają się wyłącznikami głównymi prądnic. Czas działania: (0,01 – 0,05) sekund.
6. Taki wyłącznik zwarciovy z wymaganym wyposażeniem może stanowić samodzielnie zabezpieczenie dla okrętowych prądnic synchronicznych przeznaczonych do pracy samotnej w tym dla prądnic awaryjnych.
7. Okrętowe prądnice synchroniczne przeznaczone do pracy równoległej powinny mieć co najmniej następujące zabezpieczenia:
 - przed przeciążeniami;
 - przed zwarciami;
 - kierunkowe / prądu lub mocy zwrotnej /
 - podnapięciowe / przed zanikiem lub obniżeniem napięcia /;
 - różnicowe / dla prądnic o mocy 1500 kVA i większej /.
8. Realizacja zabezpieczeń każdej okrętowej prądnicy synchronicznej przeznaczonej do pracy równoległej odbywa się zazwyczaj w następujący sposób:
 - zabezpieczenia zwarciove i podnapięciowe realizowane są przez główny wyłącznik zwarciovy prądnicy.
 - wszystkie zabezpieczenia przeciążeniowe oraz mocy zwrotnej realizują poszczególne człony tzw. przekaźnika zabezpieczenia prądnicy, który współpracuje z jej wyłącznikiem głównym.



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Rys.6 Blokowy schemat działania oraz charakterystyki czasowo-prądowe przekaźnika zabezpieczenia okrętowej prądnicy synchronicznej: WG - wyłącznik główny prądnicy, PZP - przekaźnik zabezpieczenia prądnicy

9. Nastawy parametrów na poszczególnych członach są przykładowe, chociaż realne, a granice tolerancji nastaw podają wymagania Instytucji Klasyfikacyjnych.

Zagadnienie I.E Okrętowe prądnice synchroniczne – wałowe

Wiadomości ogólne:

- względy ekonomiczne takie jak zużycie paliwa olejów i smarów oraz niższe koszty utrzymania siłowni okrętowej, czyli mniejszy koszt wytwarzania energii elektrycznej, przemawiają za stosowaniem prądnic wałowych do zasilania sieci okrętowych;
- prądnice wałowe można wykorzystać jedynie w czasie pracy napędu głównego statku / przy śrubie nastawnej / i tylko w czasie żeglugi, / przy śrubie napędowej o stałym skoku/;
- prądnice wałowe mogą pełnić rolę części głównego źródła energii elektrycznej na statku pod warunkiem, że zostanie zapewniona odpowiednia regulacja podstawowych parametrów, czyli napięcia i częstotliwości;
- zasadnicze trudności w wykorzystaniu prądnicy wałowej wiążą się z :
 - * niejednostajnością biegu głównych silników napędowych statku (falowanie morza i „ wyskakiwanie” śruby napędowej z wody, niespodziewane manewry śrubą i sterem oraz inne przyczyny);
 - * problemy występujące przy pracy równoległej z zespołami prądotwórczymi posiadającymi



własne napędy ze względu na duże różnice mocy w stosunku do mocy SG /
charakterystyki

mechaniczne sztywna i miękkie /

- stałą częstotliwość napięcia prądnicy wałowej można uzyskać na drodze:

* mechanicznej przez zastosowanie odpowiednio skutecznych regulatorów prędkości obrotowej i zastosowanie śruby nastawnej;

* elektrycznej przez wyprostowanie napięcia prądnicy wałowej a następnie podanie go do sieci , przez przetwornik maszynowy / silnik prądu stałego-prądnicą synchroniczną /,

lub

przez przetwornik statyczny / falownik /.

- stałą wartość napięcia utrzymując typowe automatyczne regulatory napięcia.

I.Ea Rodzaje i sposoby połączeń z wałem śrubowym.

1. Prądnicą wałową wbudowaną bezpośrednio w ciąg wału śrubowego, tzn. część wału odpowiednio dzielonego jest jednocześnie wałem wirnika prądnicy. Prądnicą tego typu jest wolnoobrotowa o dużej ilości par biegunów i dlatego charakteryzuje się dużym ciężarem i gabarytami .Rozwiązanie nie często stosowane.
2. Prądnicą wałową zamontowaną osiowo na ścianie silnika głównego SG od strony przeciwnej do śruby napędowej. Wał prądnicy jest połączony bezpośrednio z wałem korbowym SG. Rozwiązanie stosowane równie rzadko jak poprzednie.
3. Najczęściej prądnicą wałową jest napędzana z wału poprzez przekładnię zębatą albo przy mniejszych mocach przez przekładnię pasową. Dzięki przekładniom mogą być stosowane prądnice wałowe z typową ilością par biegunów $p = (2 - 6)$ czyli z taką jaką posiadają okrętowe prądnice synchroniczne z własnymi napędami.
4. Stosunkowo prostym i dość częstym rozwiązaniem, posiadającym sporo zalet, jest napęd prądnicy wałowej od wału głównego posiadającego śrubę napędową nastawną. Prądnicą wałową może być wykorzystywana jako główne źródło energii elektrycznej od momentu uruchomienia SG /np. przed wyjściem statku z portu / aż do zatrzymania SG w następnym porcie / po manewrach wejściowych /. Utrzymanie stałości obrotów SG, a tym samym częstotliwości napięcia przy śrubie nastawnej nie następuje dużych trudności. Produkowana przez taką prądnicę wałową sinusoida napięcia jest pozbawiona zniekształceń. Wadą tego rozwiązania jest brak możliwości długotrwałej współpracy równoległej z prądnicami zespołów prądotwórczych wolno-stojących z powodu dużej różnicy w mocy silników napędowych. Zazwyczaj takie prądnice wałowe i wolno-stojące łączy się do pracy równoległej na krótki okres (do 15 sek.) w celu przejścia obciążenia. Stabilizację napięcia zapewnia typowy, automatyczny regulator napięcia.

I.Eb Układy stabilizacji napięcia i częstotliwości oraz praca równoległa z zespołami prądotwórczymi wolno-stojącymi.

1. Prądnice wałowe napędzane przez przekładnię z wału głównego posiadającego śrubę o stałym skoku mogą pracować jako główne źródło energii elektrycznej tylko podczas żeglugi

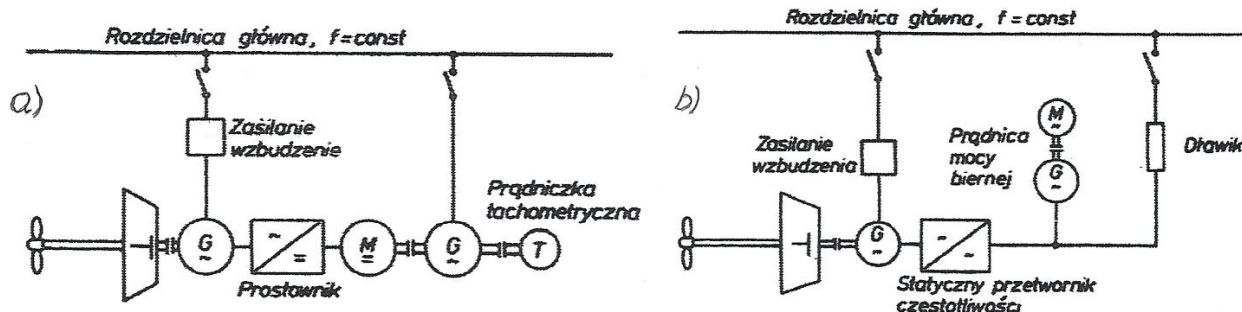


Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

statku na pełnym morzu i przy ustabilizowanej prędkości obrotowej SG, a także przy niezbyt wzburzonym morzu.

2. Ze względu na spodziewaną niejednostajność prędkości obrotowej SG i niemożliwością utrzymania częstotliwości napięcia prądnicy wałowej na znamionowym poziomie, stosuje się następujące rozwiązania:

- a) produkowane przez prądnicę wałową trójfazowe napięcie o dość dowolnej i zmieniającej się częstotliwości jest prostowane w prostowniku trójfazowym na napięcie prądu stałego; tym stałym napięciem zasilany jest silnik prądu stałego, który ma stabilizowaną prędkość obrotową własnym układem regulacji; ten silnik prądu stałego napędza prądnicę synchroniczną z automatycznym regulatorem napięcia; ta z kolei prądnicą produkuje znamionowe trójfazowe napięcie o częstotliwości sieci okrętowej i może tę sieć zasiląć, samotnie lub we współpracy równoległej z inną prądnicą wolno-stojącą nie wprowadzając do tej sieci żadnych zakłóceń ponieważ produkuje napięcie sinusoidalne; jest to układ realizujący współpracę prądnicy wałowej z maszynowym przetwornikiem częstotliwości, sprawność tego układu jest rzędu 85%; jedynym ograniczeniem technicznym tego rozwiązania jest wielkość silnika napędowego prądu stałego, który ze względu na komutację nie może być budowany na dowolnie dużą moc.
- b) produkowane przez prądnicę wałową trójfazowe napięcie o dość dowolnej i zmieniającej się częstotliwości jest prostowane w pierwszym stopniu energoelektronicznego przetwornika statycznego prostownikiem trójfazowym na napięcie prądu stałego; następnie ten prąd stały jest przetwarzany w drugim stopniu przetwornika / w falowniku / na prąd przemienny trójfazowy o stałej częstotliwości przemysłowej, którym można zasiląć okrętową sieć elektryczną; jeżeli falownik przetwornika wykonany jest z tyrystorów, to falownik ten nie wytwarza mocy biernej, a to powoduje konieczność zastosowania dodatkowej prądnicy synchronicznej wytwarzającej tylko moc bierną / tzw. kompensator synchroniczny /; układ ten ma jeszcze jedną istotną wadę ponieważ krzywe wytworzonego przez przetwornik napięcia trójfazowego są znacznie odkształcone, zawierające harmoniczne, wpływające niekorzystnie na jakość energii elektrycznej dostarczanej do sieci okrętowej; wywiera to ujemne skutki w czasie eksploatacji powodując np. wzrost strat w urządzeniach i maszynach elektrycznych, a w konsekwencji wzrost temperatury w tych urządzeniach; powoduje to również powstanie elektromagnetycznych zakłóceń w obwodach sterowania, zabezpieczeń, łączności zewnętrznej itp.; sprawność takiego układu jest rzędu 80%.



Rys.7 Układy prądnic wałowych z przetwornikami częstotliwości:

- a) z przetwornikiem maszynowym b) z przetwornikiem statycznym



I.Ec Wymagania przepisów Instytucji Klasyfikacyjnych

1. Prądnice wałowe zastosowane do zasilania sieci elektrycznej statku, powinny być wyposażone w urządzenia zapewniające regulację napięcia i częstotliwości w granicach określonych ogólnie dla prądnic prądu przemiennego w punkcie **I.Bf**.
2. W przypadku spadku częstotliwości w sieci poniżej dopuszczalnej wartości powinno nastąpić samoczynne załączenie jednej lub kilku prądnic z niezależnym napędem, albo zadziałanie sygnalizacji alarmowej w maszynowni lub na centralnym stanowisku sterowania.
3. Prądnice wałowe powinny być przystosowane do co najmniej krótkotrwałej pracy równoległej z zespołami prądotwórczymi z niezależnym napędem, w celu ręcznego lub automatycznego przejęcia obciążenia.
4. Przy załączeniu prądnicy wałowej do sieci elektrycznej statku, na mostku nawigacyjnym powinna załączać się automatycznie sygnalizacja świetlna ostrzegająca, że zmiana prędkości obrotowej napędu głównego może spowodować zmiany parametrów sieci elektrycznej statku, określone w punkcie **I.Bf**.

Zagadnienie I.F Awaryjne źródła energii i instalacje elektryczne na statkach

I.Fa Awaryjne zespoły prądotwórcze.

1. Prądnica synchroniczna z własnym, niezależnym napędem, z urządzeniami do stabilizacji napięcia i częstotliwości, o mocy wystarczającej do zasilania odbiorników awaryjnych może być awaryjnym źródłem energii elektrycznej.
2. Awaryjny zespół prądotwórczy **AZP**, razem z awaryjną tablicą rozdzielczą **ATR**, w specjalnym pomieszczeniu, powinien być usytuowany powyżej najwyższego pokładu ciągłego, poza obrębem szybów maszynowych i za grodzią zderzeniową. Wejście do tego pomieszczenia powinno być łatwo dostępne i powinno prowadzić na pokład, na którym znajduje się awaryjne źródło energii elektrycznej.
3. Pomieszczenie **AZP** powinno być ogrzewane i odpowiednio, skutecznie wentylowane dla zapewnienia sprawnego uruchomienia i pracy zespołu awaryjnego.
4. **AZP** powinien uruchamiać się automatycznie po zaniku napięcia w sieci podstawowej, oraz automatycznie załączać się na szyny **ATR** i automatycznie zasilать odbiorniki energii awaryjnej. Łączny czas rozruchu i przejęcia obciążenia przez prądnicę awaryjną nie może przekroczyć 45 sekund.
5. Jako urządzenia rozruchowe awaryjnych zespołów prądotwórczych mogą być stosowane następujące układy posiadające trwale zmagazynowaną energię:
 - elektryczny układ rozruchowy z własną baterią akumulatorów i układem ładowania zasilanym z rozdzielnic awaryjnej;
 - hydrauliczny układ rozruchowy zasilany z rozdzielnic awaryjnej;
 - pneumatyczny układ rozruchowy zasilany z głównego lub pomocniczego zbiornika sprężonego powietrza poprzez zawór zwrotny lub z awaryjnej sprężarki powietrza zasilanej z rozdzielnic awaryjnej.
6. Każdy **AZP** z automatycznym rozruchem powinien być wyposażony w urządzenie rozruchowe z zapasem energii wystarczającym na co najmniej trzy kolejne rozruchy.



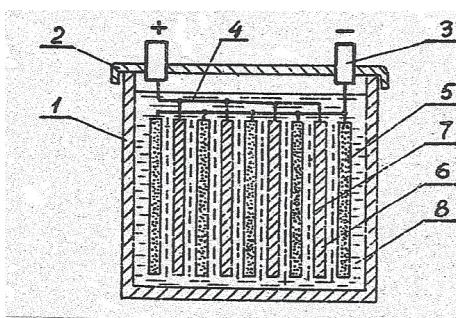
Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Oprócz tego należy przewidzieć drugie źródło energii umożliwiające wykonanie dodatkowych trzech rozruchów w ciągu 30 minut lub przewidzieć urządzenie umożliwiające skuteczny rozruch ręczny.

7. Jeżeli do rozruchu **AZP** zastosowano tylko elektryczny układ rozruchowy z własną baterią rozruchową, to w charakterze rezerwowego źródła energii do rozruchu należy przewidzieć drugą baterię akumulatorów z zapasem energii na trzy kolejne rozruchy.
8. W normalnych warunkach eksploatacyjnych rozdzielnica awaryjna otrzymuje zasilanie z rozdzielnicy głównej. Stan taki umożliwia pracę wszystkich odbiorników awaryjnych przy wyłączonym **AZP**. W wypadku zaniku napięcia na rozdzielnicy głównej, uruchamia się automatyczne **AZP** i zasila automatycznie rozdzielnicę awaryjną.

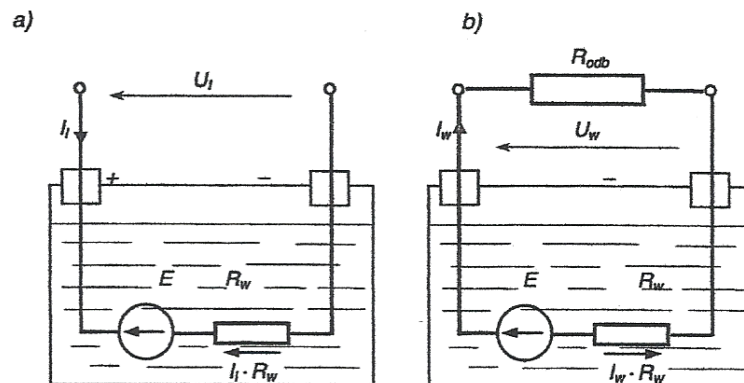
I.Fb Baterie akumulatorów kwasowych, zasadowych i bezobsługowych.

1. Dużą rolę na statkach odgrywają źródła energii elektrycznej wytwarzające napięcie na zasadzie przemiany elektrochemicznej.
2. Do tej grupy należą baterie suche / 1,5 V ; 4,5V ; 9V / mogące oddać jednorazowo energię elektryczną zawartą w chemicznych komponentach bez możliwości ładowania.
3. Baterie te mają powszechne zastosowanie w przenośnych urządzeniach pomiarowych, kontrolnych, sygnalizacyjnych, przenośnych źródłach światła, środkach ratunkowych / pławki świetlne, radiopławy, transpondery, radiotelefony, pasy ratunkowe / itp.
4. Akumulatory to elektrochemiczne źródła energii elektrycznej budowane na wyższe napięcia, posiadające większe pojemności oraz zdolność do gromadzenia energii elektrycznej i jej oddawania czyli można je ładować i rozładowywać.
5. Pojedyncze ogniwa akumulatorów łączy się w baterie:
 - szeregowo dla uzyskania potrzebnego napięcia;
 - równolegle dla uzyskania wymaganej pojemności.
6. Powszechne zastosowanie na statkach znajdują tradycyjne akumulatory kwasowe i zasadowe oraz tzw. bezobsługowe.



Rys.8 Zasada budowy typowego akumulatora:

1 - obudowa, 2 - pokrywa z tworzywa sztucznego, 3 - zacisk podłączeniowy, 4 - mostek zwierający płyty, 5 - płyta o potencjale ujemnym, 6 - płyta o potencjale dodatnim, 7 - przekładka separacyjna z materiału izolacyjnego perforowanego, 8 – elektrolit



Rys.9 Stany pracy akumulatora:

a) ładowanie - w trakcie ładowania dostarczana jest energia elektryczna prądu stałego o napięciu większym od siły elektromotorycznej akumulatora w celu wymuszenia przepływu prądu elektrycznego; $U_l = E + I_l R_w$

b) wyladowanie – w czasie rozładowania czyli pobierania energii elektrycznej z akumulatora napięcie na jego zaciskach będzie mniejsze od siły elektromotorycznej; $U_w = E - I_w R_w$

Objaśnienia do rys.9:

U_l - napięcie podczas ładowania

U_w - napięcie podczas wyladowania

I_l - prąd ładowania

I_w - prąd wyladowania

E - siła elektromotoryczna akumulatora

R_w - rezystancja wewnętrzna akumulatora

Parametry znamionowe akumulatorów:

a) siła elektromotoryczna (E) – napięcie [V] na zaciskach naładowanego, nieobciążonego akumulatora;

b) napięcie znamionowe (U_n) – napięcie [V] na zaciskach naładowanego akumulatora przy obciążeniu prądem znamionowym;

c) pojemność elektryczna (Q_{el}) – ilość ładunku elektrycznego [Ah] możliwa do pobrania z naładowanego akumulatora podczas jego rozładowania;

d) rezystancja wewnętrzna (R_w) - rezystancja wewnętrzna akumulatora [Ω] zależna od konstrukcji (liczba płyt, odległości między nimi, rodzaj przekładek, łączniki i mostki), temperatura elektrolitu, wiek akumulatora.

Ogólne zasady obsługi klasycznych akumulatorów okrętowych kwasowych i zasadowych:

- należy kontrolować poziom elektrolitu akumulatorów, który powinien wynosić około 10 mm ponad płyty, albo przy przezroczystej obudowie zawierać się pomiędzy poziomem „min” i „max”;

- poziom elektrolitu należy wyrównywać przed ładowaniem dolewając jedynie wody destylowanej lub demineralizowanej;

- akumulatory powinny być utrzymywane w stanie naładowanym, a powierzchnie obudowy powinny być czyste i suche;

- końcówki, sworznie i nakrętki powinny być oczyszczone i zakonserwowane cienką warstwą wazeliny technicznej;

- w przypadku dłuższego unieruchomienia akumulatora należy przynajmniej raz na miesiąc naładować go do pełnego stanu;



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

- akumulatory w czasie pracy wydzielają opary różnych związków chemicznych i wódór, co powoduje, że atmosfera w akumulatorni jest szkodliwa dla ludzi i materiałów, a także niebezpieczna pod względem wybuchowym, dlatego pomieszczenia akumulatorów muszą spełniać szczególne wymagania;
- ogniwa akumulatorowe należy umieszczać w specjalnych koszach z przekładkami dystansowymi dla zapewnienia wentylacji i zabezpieczenia przed przemieszczaniem;
- ogrzewanie pomieszczenia akumulatorów powinno być wodne lub parowe albo realizowane kosztem ciepła z przyległych pomieszczeń, a temperatura podczas eksploatacji nie może być niższa niż + 5°C;
- akumulatornia powinna posiadać skuteczną wentylację zapobiegającą tworzeniu się i gromadzeniu mieszanek wybuchowych ; przy sztucznej wentylacji, ładowanie akumulatorów powinno być możliwe tylko przy pracującym wentylatorze;
- w akumulatorni nie należy instalować żadnych urządzeń elektrycznych z wyjątkiem opraw oświetleniowych w wykonaniu przeciwwybuchowym oraz kabli prowadzących do akumulatorów i lamp oświetleniowych;
- rozdzielnica awaryjna zasilana z baterii akumulatorów powinna być usytuowana w pomieszczeniu osobnym sąsiadującym z akumulatornią;
- te dwa pomieszczenia powinny być umiejscowione na statku powyżej najwyższego pokładu ciągłego z łatwym dostępem z otwartego pokładu.

I.Fc Wymagania ogólne Instytucji Klasyfikacyjnych dla awaryjnych źródeł energii elektrycznej:

1. Na każdym statku z własnym napędem należy zainstalować awaryjne źródło energii elektrycznej, które powinno uruchamiać się i załączać automatycznie na szyny rozdzielnic awaryjnej po zaniku napięcia na szynach rozdzielnic głównej.
2. Awaryjnym źródłem energii elektrycznej może być prądnica z własnym, niezależnym napędem lub bateria akumulatorów.
3. Moc awaryjnego źródła energii elektrycznej powinna być wystarczająca do jednoczesnego zasilania wszystkich odbiorników, których praca jest wymagana dla zapewnienia bezpieczeństwa podczas awarii statku.
4. Czas pracy awaryjnego źródła energii elektrycznej jest zależny od typu i wielkości statku. Dla nieograniczonego rejonu pływania powinien wynosić:

- statki pasażerskie	36 h
- statki towarowe o pojemności brutto 300 RT i większej	18 h
- statki towarowe o pojemności brutto mniejszej od 300 RT	6 h



Temat II (15h) Rozdział energii elektrycznej na statku

Zagadnienia:

- A.** Układy elektrycznych sieci okrętowych, systemy rozdziału energii elektrycznej, układy elektrowni okrętowych i rozdzielnice energii elektrycznej:
- układy elektrycznych sieci okrętowych na statkach;
 - systemy rozdziału energii elektrycznej na statku;
 - układy elektrowni okrętowych;
 - okrętowe rozdzielnice energii elektrycznej;
 - zasilanie obwodów ważnych;
 - dobór mocy elektrowni okrętowej.
- B.** Aparatura łączeniowa i zabezpieczająca w elektrycznej sieci okrętowej:
- rodzaje i klasyfikacja okrętowych łączników elektrycznych;
 - aparaty zabezpieczające;
 - zabezpieczenia okrętowych odbiorników energii elektrycznej.
- C.** Zasady ochrony przeciwporażeniowej w elektrycznych sieciach okrętowych:
- przyczyny i skutki oraz rodzaje porażień w elektrycznych sieciach okrętowych;
 - prądy i napięcia bezpieczne;
 - środki ochrony przeciwporażeniowej stosowane w elektrycznych sieciach okrętowych.

Zagadnienie II.A Układy elektrycznych sieci okrętowych, systemy rozdziału energii elektrycznej, układy elektrowni okrętowych i rozdzielnice energii elektrycznej.

II.Aa Układy elektrycznych sieci okrętowych.

Na statkach dopuszczone są przepisami międzynarodowymi oraz PRS, następujące układy rozdzielcze niskiego napięcia (do 1000 V) prądu przemiennego:

- trójfazowy, trójprzewodowy izolowany;**
- trójfazowy, trójprzewodowy z uziemionym punktem zerowym;
- trójfazowy, czteroprzewodowy z uziemionym punktem zerowym, lecz bez wykorzystania kadłuba, jako przewodu powrotnego – dla napięć do 500V;
- jednofazowy, dwuprzewodowy izolowany;**
- jednofazowy , dwuprzewodowy z uziemionym jednym przewodem – dla napięć do 500V; oraz dla prądu stałego:
- dwuprzewodowy izolowany;**
- jednoprzewodowy z wykorzystaniem kadłuba statku jako przewodu powrotnego dla napięć do 50V;
- dwuprzewodowy z jednym biegunem uziemionym;
- trójprzewodowy z uziemionym punktem zerowym.

Pomimo dopuszczenia do eksploatacji tak wielu różnorodnych układów rozdzielczych , w praktyce w powszechnym użyciu stosuje się układy wymienione w pozycjach 1 ,4 ,6.

Najbardziej popularnym układem trójfazowym jest układ **trójfazowy, trójprzewodowy izolowany** przy zastosowaniu następujących wielkości napięć:



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

3 x 380V , 50Hz - napięcie siłowe z prądnic	3 x 220V , 50Hz - napięcie oświetleniowe z transformatorów
3 x 440V , 60Hz - napięcie siłowe z prądnic	3 x 220V , 60Hz - napięcia oświetleniowe z transformatorów
3 x 660V , 60Hz - napięcie siłowe z prądnic	3 x 110V , 60Hz - napięcia oświetleniowe z transformatorów
	3 x 220V , 60Hz - napięcie oświetleniowe z transformatorów

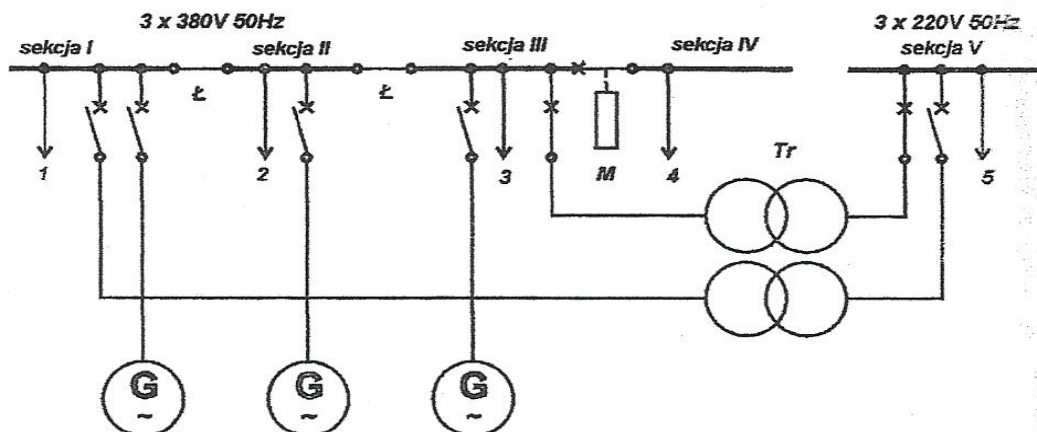
Ze względu na wzrastające moce zainstalowane systemów energetycznych współczesnych statków stosuje się często jako napięcia siłowe następujące wartości napięć średnich:

3,0 kV ; 6,0 kV ; 10 kV przy 50Hz
3,3 kV ; 6,6 kV ; 11 kV przy 60 Hz

Układy **dwuprzewodowe izolowane** stosuje się jako jednofazowe prądu przemiennego oraz dwubiegunowe prądu stałego na małych jednostkach pływających takich jak: statki rybackie i pomocnicze, holowniki, motorówki, jednostki sportowe itp.

II.Ab Systemy rozdziału energii elektrycznej na statku.

1. Centralnym punktem rozdziału energii elektrycznej dostarczanej przez prądnice okrętowe jest rozdzielnica główna **RG** albo inaczej zwana główna tablica rozdzielcza **GTR**. Dalszy przesył energii elektrycznej może odbywać się w następujący sposób:
 - bezpośrednio z RG do odbiorników (system promieniowy jednostopniowy);
 - z RG zasilane są rozdzielnice pomocnicze (grupowe), a te z kolei zasilają odbiorniki (jest to system promieniowy dwustopniowy);
 - połączeniem dwóch poprzednich systemów jest system mieszany polegający na tym, że część odbiorników jest zasilana bezpośrednio z RG, a pozostała część pośrednio z rozdzielnic grupowych ; jest to często stosowany system przesyłu energii elektrycznej;
 - na statkach specjalnych lub okrętach wojennych występuje zasilanie odbiorników w systemie pierścieniowym, który jest bardziej niezawodny, ale droższy od innych układów.
2. Niezależnie od układu i systemu rozdziału energii elektrycznej oraz typu zespołów prądotwórczych, energię tę zawsze doprowadza się do szyn zbiorczych RG o takiej konfiguracji połączeń aby były spełnione warunki niezawodności i ciągłości zasilania odbiorników a także łatwość obsługi, konserwacji i napraw.
3. Ze względu na konfigurację połączeń prądnic z szynami zbiorczymi oraz ze względu na podział szyn na sekcje, rozróżnia się następujące układy elektrowni okrętowych:
 - jeden niesekcjonowany system szyn zbiorczych stosowany najczęściej na niewielkich statkach prostej konstrukcji i małej mocy elektrycznej zainstalowanej;
 - jeden sekcjonowany system szyn zbiorczych może zawierać różną liczbę sekcji w zależności od potrzeb i założeń konstrukcyjnych projektanta ;
 - podwójny system szyn zbiorczych polega na wbudowaniu w RG dwóch niezależnych i niepołączonych ze sobą układów szyn zbiorczych; na każdy system szyn zbiorczych pracuje co najmniej jedna prądnica, a odbiorniki mogą być podłączane przez odpowiednie przełączniki do dowolnego systemu ;
 - statki morskie posiadają najczęściej pojedynczy sekcjonowany system szyn zbiorczych.



Rys.10 Przykładowy schemat pojedynczego, sekcjonowanego systemu szyn zbiorczych RG

Podstawowa zasada podziału odbiorników energii elektrycznej na poszczególne sekcje jest następująca :

- odbiory 1 i 3 są odbiorami ważnymi posiadającymi swoje odbiorniki rezerwowe;
- odbiory 2 są to odbiorniki ważne, ale bez swojej rezerwy;
- odbiory 4 to są odbiorniki, które mogą być samoczynnie odłączane dla ochrony każdej prądnicy przed przeciążeniem;
- odbiory 5 to odbiorniki zasilane napięciem 220V.

II.Ac

Układy

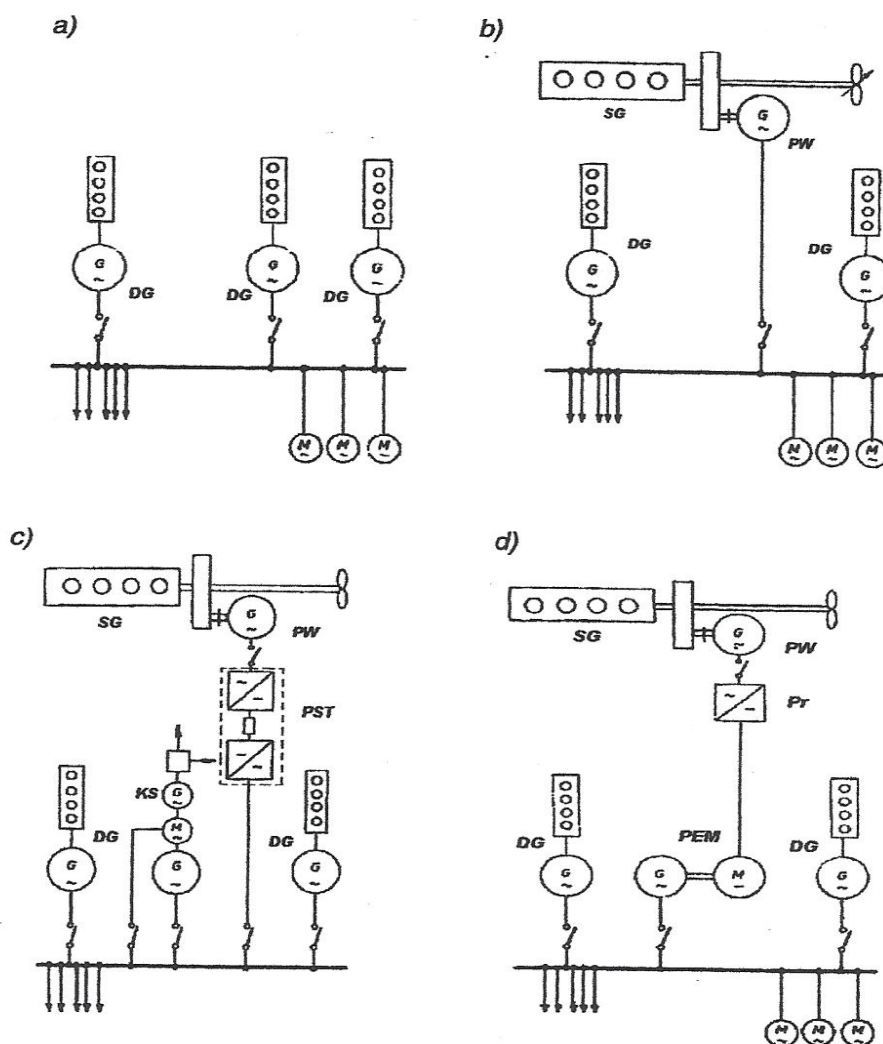
elektrowni

okrętowych

1. Układy głównych elektrowni okrętowych mogą być realizowane różnorodnymi sposobami z zachowaniem zasady, że główne źródło energii powinno się składać z minimum dwóch niezależnych zespołów prądotwórczych, o mocy każdego z nich wystarczającej do pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną wystarczającą do bezpiecznej eksploatacji statku.
2. Spośród wielu różnych, rozwiązań na statkach towarowych stosuje się najczęściej następujące rozwiązania elektrowni głównej pokazane na rysunku poniżej:



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Rys.11 Przykłady najczęściej spotykanych układów elektrowni okrętowych na statkach towarowych

Objaśnienia do rys. 11.

Rys. 11 a) Układ posiada trzy zespoły prądotwórcze wolnostojące przystosowane do pracy równoległej, bez prądnicy wałowej. Zespołów prądotwórczych może być więcej i o różnych (porównywalnych) mocach znamionowych. Zespoły prądotwórcze mogą pracować w systemie automatycznym, lub mogą być sterowane ręcznie.

Rys. 11 b) Układ składa się z dwóch zespołów prądotwórczych wolnostojących (może być więcej i o różnych mocach znamionowych) oraz prądnicy wałowej napędzanej od wału śrubowego przez przekładnię (zębatą lub pasową) mogącą zasilać bezpośrednio RG. Układ napędu głównego statku posiada śrubę nastawną, dzięki której może być zapewniona stabilna prędkość obrotowa SG a tym samym również częstotliwość napięcia prądnicy wałowej.



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Prądnica wałowa może stanowić część głównego źródła energii elektrycznej na statku i może przy odpowiednio dobranej mocy znamionowej zasilac elektryczną sieć okrętową przez cały okres od uruchomienia do zatrzymania SG (z manewrami włącznie).

Praca równoległa prądnicy wałowej z prądnicami posiadającymi własne napędy jest możliwa, ale niestety ograniczona do krótkotrwałej (15 sek.) , ze względu na duże różnice mocy napędów prądnicy wałowej i prądnic wolnostojących.

Rys. 11 c) Układ posiada dwa zespoły prądotwórcze wolnostojące oraz prądnicę wałową napędzaną przez przekładnię od wału śrubowego, mogącą zasilac elektryczną sieć okrętową poprzez energoelektroniczny przetwornik statyczny energii elektrycznej. W celu wytworzenia

mocy biernej zastosowana jest specjalna dodatkowa prądnica synchroniczna (kompensator synchroniczny) napędzana silnikiem elektrycznym zasilanym z sieci okrętowej. Główny układ napędowy wyposażony jest w śrubę o stałym skoku co powoduje że SG nie jest w stanie zapewnić stabilnej prędkości obrotowej we wszystkich warunkach pracy napędu. W związku z powyższym prądnica wałowa wytwarza energię elektryczną z parametrami daleko odbiegającymi od znamionowych (napięcie i częstotliwość). To napięcie o dowolnej wartości częstotliwości jest prostowane w pierwszym stopniu przetwornika (prostownik), a następnie drugi stopień (falownik) wytwarza przemienne trójfazowe napięcie o parametrach nadających się do zasilania elektrycznej sieci okrętowej i współpracy równoległej z innymi prądnicami. W tym układzie jest możliwa długotrwała praca równoległa prądnicy wałowej z innymi prądnicami wolnostojącymi, chociaż tylko podczas pracy SG i po uzyskaniu ustalonej prędkości obrotowej napędu głównego czyli podczas żeglugi na pełnym morzu i sprzyjających warunkach pogodowych.

Rys. 11 d) W układzie tym główny wał napędowy ze śrubą o stałym skoku nadaje poprzez przekładnię, prędkość obrotową prądnicy wałowej, która wytwarza trójfazowe napięcie przemienne o parametrach różniących się znacznie od wartości znamionowych. Napięcie to jest prostowane w prostowniku trójfazowym na napięcie stałe, którym zasilany jest silnik prądu stałego napędzający trójfazową prądnicę synchroniczną wytwarzającą napięcie o parametrach przemysłowych nadających się do zasilania sieci okrętowej . Prostownik trójfazowy, silnik prądu stałego i prądnica synchroniczna tworzą zespół zwany przetwornicą elektromaszynową. Prądnica wałowa nadaje się do długotrwałej pracy równoległej z prądnicami zespołów prądotwórczych wolnostojących, oczywiście podczas ustabilizowanej pracy SG w czasie podróży na otwartym morzu i przy sprzyjających warunkach pogodowych.

3. Statki pasażerskie, promy oraz statki rybackie (przetwornie, zamrażalnie) posiadają elektrownie znacznie bardziej rozbudowane, ze względu na większą moc elektryczną zainstalowaną. Na takich statkach występuje często większa liczba prądnic wałowych, większa liczba odbiorników o dużej mocy elektrycznej (stery strumieniowe). Duża moc elektryczna zainstalowana zmusza do stosowania napięć średnich (1 -10) kV.



II.Ad Okrętowe rozdzielnice energii elektrycznej.

1. Centralnym węzłem systemu energetycznego statku jest rozdzielnica główna RG, zazwyczaj umieszczona w pomieszczeniu centrali manewrowo-kontrolnej CMK na poziomie pomostu maszynowni.
2. Współczesne rozdzielnice są konstruowane w systemie kasetowo-szkieletowym, w którym poszczególne pola wykonane są w formie szkieletu z kątowników (kształtowników) i wyposażone w moduły o typowych przeznaczeniach np. pole prądnic, pole synchronizacji i pomiarów, pole odbiorów itp.
3. Szyny zbiorcze rozdzielnicy przechodzą przez całą sekcję utworzoną z kilku pól.
4. W polu prądnic umieszczony jest jej wyłącznik zwarciový główny, aparaty i przyrządy sterujące, kontrolne i zabezpieczające, może być umieszczony regulator napięcia (dla prądnic synchronicznych pierścieniowych).
5. W polu synchronizacji umieszcza się zazwyczaj aparaturę do synchronizacji prądnic i kontrolno-pomiarową systemu, a także często wyłącznik i zaciski podłączenia zasilania z łądu.
6. Pola odbiorów zawierają wyłączniki i zabezpieczenia zasilanych obwodów.
7. Kasetowa budowa rozdzielnic umożliwia składanie odpowiednich modułów, tworząc elementy dopasowane do wymogów rozdziału energii elektrycznej.
8. Kasety połączone są z wewnętrznymi szynami za pomocą styków wtykowo zatrząskowych, co ułatwia ich wymianę w wypadku uszkodzenia.
9. Rozdzielnice awaryjne budowane są zazwyczaj z elementów podobnych do tych z rozdzielnic głównych.
10. Rozdzielnice pośredniczące (grupowe) oraz końcowe buduje się w formie skrzynek różnej wielkości i z różnym wyposażeniem . Zazwyczaj wyposażone są w aparaty zabezpieczające przed przeciążeniem i zwarcie.

II.Ae Zasilanie obwodów ważnych z rozdzielnicy głównej RG.

Według przepisów PRS , z szyn rozdzielnicy głównej, powinny być zasilane oddzielnymi obwodami następujące odbiorniki:

1. napędy elektryczne urządzeń sterowych;
2. napędy elektryczne urządzeń kotwicznych;
3. napędy elektryczne pomp pożarniczych;
4. napędy elektryczne pomp zęzowych;
5. napędy elektryczne sprężarek i pomp instalacji tryskaczowej;
6. żyrokompas;
7. rozdzielnica urządzeń chłodniczych ładowni;
8. napędy elektryczne zespołów wzbudzenia elektrycznego napędu głównego;
9. rozdzielnice grupowe oświetlenia podstawowego;
10. rozdzielnice urządzeń radiokomunikacyjnych;
11. rozdzielnice urządzeń nawigacyjnych;
12. rozdzielnice latarń sygnałowo-pozycyjnych;



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

13. rozdzielnice grupowe innych ważnych urządzeń , zgrupowanych na zasadzie jednorodności spełnianych przez nie funkcji;
14. rozdzielnice pulpitu sterowniczo-kontrolnego ruchu statku;
15. rozdzielnice automatycznych urządzeń wykrywczej sygnalizacji pożarowej;
16. napędy elektryczne mechanizmów zapewniających pracę napędu głównego;
17. rozdzielnice zasilające urządzenia ładunkowe, cumownicze, łodziowe, wentylacji i urządzeń grzewczych;
18. urządzenia sterowania śrub nastawnych;
19. urządzenia do ładowania baterii akumulatorów rozruchowych i baterii akumulatorów zasilających ważne urządzenia ;
20. rozdzielnice zasilania napędów elektrycznych zamknięcia drzwi wodoszczelnych i urządzeń utrzymujących drzwi przeciwpożarowe w stanie otwartym oraz rozdzielnice sygnalizacji położenia zamknięcia drzwi wodoszczelnych i przeciw pożarowych;
21. rozdzielnice urządzeń chłodniczych instalacji gaśniczej z dwutlenkiem węgla o niskim ciśnieniu;
22. rozdzielnice oświetlenia hangarów i świateł sygnałowych lądowisk śmigłowców;
23. inne nie wymienione wyżej odbiorniki określane każdorazowo przez PRS.

Wymaganie to jest podstawowym (kierunkowym) rozwiązaniem, które może być złagodzone lub rozszerzone przez Towarzystwo Klasyfikacyjne dla konkretnego statku, jednak tylko w nieznacznym zakresie w stosunku do wymienionych wyżej wymagań.

II.Af Dobór mocy elektrowni okrętowej.

1. Podstawowym zadaniem, przy projektowaniu elektrowni okrętowej jest dobór mocy sumarycznej źródeł energii elektrycznej i rozdział tej mocy między poszczególne zespoły prądotwórcze.
2. Elektrownia okrętowa powinna spełniać wiele warunków, nieraz trudnych do pogodzenia takich jak :
 - składające się z co najmniej dwóch niezależnych zespołów prądotwórczych główne źródło energii elektrycznej powinno zapewnić zasilanie okrętowych urządzeń elektrycznych we wszystkich stanach pracy dla danego rodzaju statku, takich jak:
 - * podróż na morzu,
 - * postój w porcie, na redzie(z operacjami ładunkowymi lub bez),
 - * manewry (cumowanie, odcumowanie, przeholowania),
 - * pogotowie manewrowe (w kanałach , fiordach , śluzach),
 - * stany awaryjne (pożar, przebicie dna, mielizna i inne)
 - bardzo istotnymi są minimalne koszty wytwarzania energii elektrycznej (koszty paliwa, olejów, obsługi, remontów, koszty inwestycyjne);
 - bezpieczeństwo eksploatacji i prostota obsługi.
3. Wszystkie urządzenia odbiorcze energii elektrycznej można podzielić na zasadnicze grupy zbliżone funkcjonalnie, zależnie od typu statku i rodzaju napędu głównego.
4. Na statkach towarowych z napędem w postaci silnika spalinowego tłokowego, przyjęto podział na następujące grupy odbiorów energii elektrycznej:
 - mechanizmy silnika głównego 10 – 20 % Pi



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

- mechanizmy pomocnicze siłowni	20 – 30 % Pi
- urządzenia pokładowe	25 – 40% Pi
- urządzenia wentylacji i klimatyzacji	4 – 15% Pi
- urządzenia kuchenne i gospodarcze	3 – 14% Pi
- urządzenia chłodni prowiantowej i ładowni chłodzonych	1 – 20% Pi
- urządzenia sieci oświetleniowej	3 – 8% Pi
- Urządzenia radiowe i elektro nawigacyjne	0,5 – 3,5% Pi

Pi [kW] – elektryczna moc zainstalowana czyli suma mocy znamionowych wszystkich odbiorników energii elektrycznej na statku z dodaniem mocy znamionowych źródeł energii elektrycznej (prądnic).

5. Podział urządzeń odbiorczych na pokazane wyżej grupy jest wykorzystywany do układania tzw. bilansu energetycznego i na podstawie analizy pracy odbiorników w poszczególnych stanach energetycznych, do doboru liczby i mocy zespołów prądotwórczych.
6. Bilans energetyczny jest sporządzany na etapie projektowania statku i jest zatwierdzany przez Instytucję Klasyfikacyjną podobnie jak cała dokumentacja techniczna. W czasie eksploatacji statku, zmiany w bilansie energetycznym mogą być dokonywane tylko po konsultacjach i zatwierdzeniu przez Klasyfikatora.
7. Doboru mocy elektrowni dokonuje się również na podstawie symulacji komputerowych oraz uwzględnia się doświadczenia z eksploatowanych już statków.

Zagadnienie II.B Aparatura łączeniowa i zabezpieczająca w elektrycznej sieci okrętowej

II.Ba Rodzaje i klasyfikacja okrętowych łączników elektrycznych

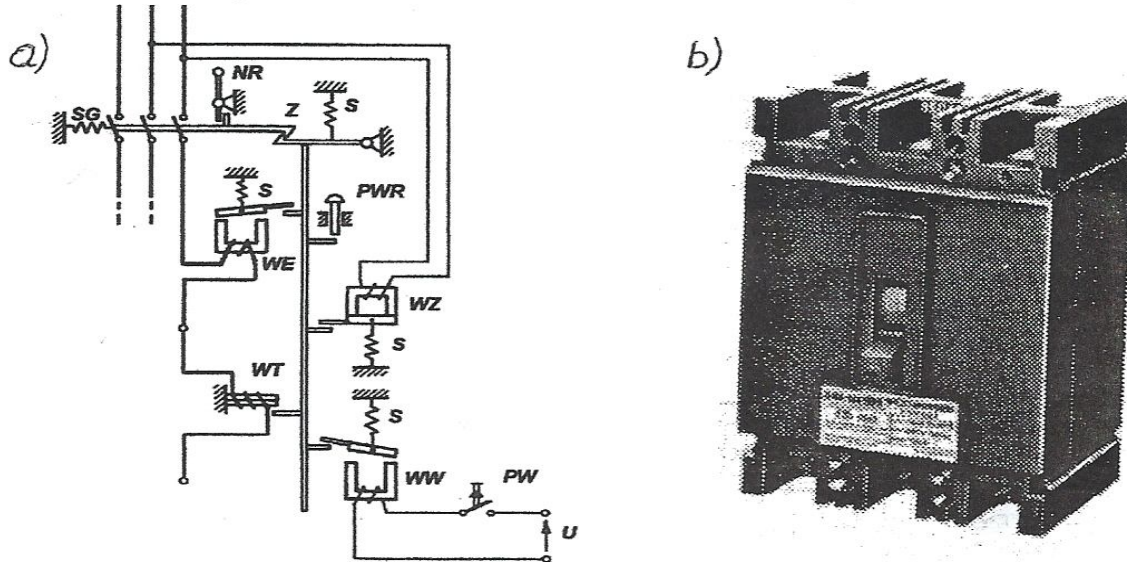
1. Łączniki elektryczne są to aparaty przeznaczone do przewodzenia określonych prądów oraz do wykonywania czynności łączeniowych w obwodach urządzeń elektroenergetycznych.
2. Przydatność łączników do wykonywania określonych zadań w układach elektroenergetycznych jest charakteryzowana wieloma parametrami określającymi właściwości tych aparatów.
3. Do najważniejszych parametrów łączników należą:
 - * napięcie znamionowe;
 - * prąd znamionowy ciągły;
 - * prąd znamionowy wyłączalny;
 - * prąd znamionowy załączalny;
 - * prąd znamionowy szczytowy;
 - * trwałość mechaniczna.
4. Prądy płynące w obwodach elektrycznych można podzielić na:
 - * prądy robocze (do $7I_n$);
 - * prądy zwarciove (powyżej $7I_n$).
5. Łączniki elektryczne niskiego napięcia (o napięciach znamionowych do 1000V prądu przemiennego i 1500V prądu stałego) ze względu na zdolność łączeniową można podzielić na:
 - * łączniki zwarciove (wyłączniki);
 - łączniki mechanizmowe,



- bezstykowe – bezpieczniki topikowe,
 - * łączniki robocze (rozłączniki);
 - * łączniki izolacyjne (odłączniki).
6. Ze względu na budowę, rodzaj wykonania i zakres stosowania, z rodziny łączników można wyróżnić:
- * bezpieczniki – bezstykowe łączniki topikowe;
 - * łączniki rozdzielcze;
 - * łączniki manewrowe;
 - * styczniki;
 - * łączniki sterownicze;
 - * łączniki krańcowe;
 - * wyłączniki ochronne przeciwporażeniowe;
 - * przekaźniki – łączniki pracujące w obwodach pomocniczych.
7. Do najważniejszych elementów składowych łącznika należą:
- * napęd – ręczny lub samoczynny;
 - * styki ruchome i nieruchome;
 - * wyposażenie dodatkowe – wyzwalacze i przekaźniki.
8. Łączniki izolacyjne i rozłączniki mają napęd ręczny. Łączniki zwarciove mogą być załączane i wyłączane ręcznie lub samoczynnie.

II.Bb Aparaty zabezpieczające

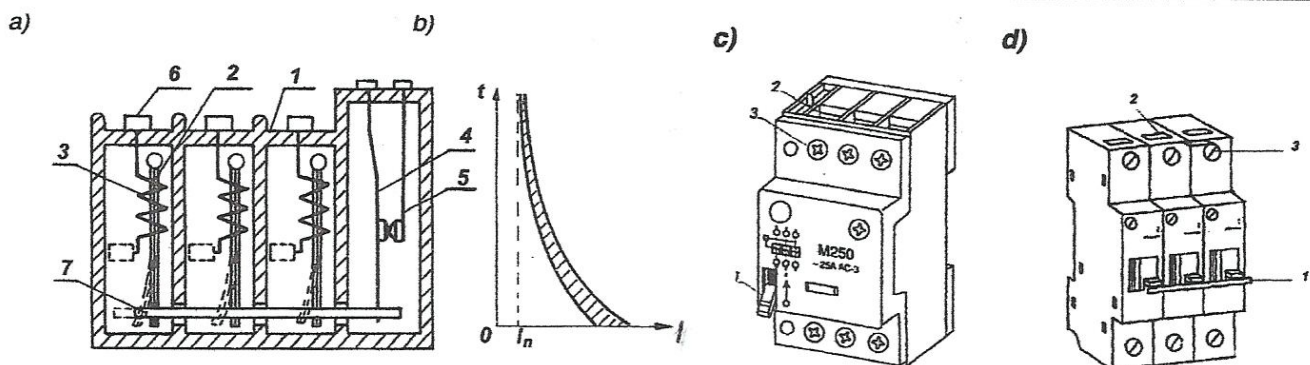
1. Wyłączniki samoczynne zwarciove są przeznaczone do załączania i wyłączania prądów roboczych, przeciążeniowych i zwarciowych, Wyłączenie samoczynne może nastąpić w wyniku zadziałania wyzwalaczy lub przekaźników, reagujących na pewne wielkości fizyczne jak: napięcie, natężenie prądu, temperatura itp. Wyłącznik zwarciovy wyposażony w odpowiednie wyzwalacze może chronić zasilane urządzenie przed niedozwolonymi zmianami parametrów elektrycznych lub fizycznych np. obniżenie lub zanik napięcia, wystąpienie prądu przeciążenia lub zwarcia, obniżenie lub wzrost częstotliwości, nadmierny wzrost temperatury itp. Na zamieszczonym poniżej rysunku przedstawiono zasadę działania i wygląd zewnętrzny powszechnie stosowanych na statkach lekkich wyłączników zwarciowych kompaktowych budowanych na prądy zwarciove do 30 kA.



Rys.12 Zasada działania i wygląd zewnętrzny lekkiego wyłącznika kompaktowego zwarciovego

SG – sprężyna zwrotna styków ruchomych ; NR – dźwignia napędu ręcznego
S – sprężyna pomocnicza ; PWR – przycisk wyłączania ręcznego ; Z – zapadka zamka
WE – wyzwalacz elektromagnetyczny zwarciovego ; WW – wyzwalacz wybijkowy
WZ – wyzwalacz zanikowy podnapięciowy ; PW – przycisk zdalnego wyłączania
WT – wyzwalacz nadprądowy zwłoczny (termobimetalowy).

2. Przekąznik termobimetalowy jest powszechnie stosowany na statkach jako zabezpieczenie przeciążeniowe silników. Przekąznik współpracuje ze stycznikiem przerywając dopływ prądu do cewki elektromagnesu stycznika i powodując jego wyłączenie w wypadku przeciążenia.



Rys.13 Aparaty zabezpieczające

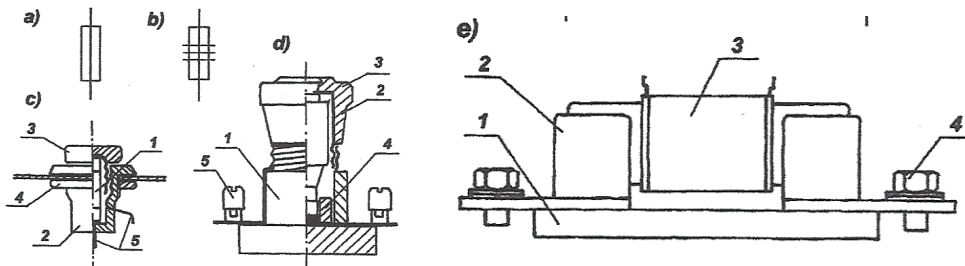
- a) Przekąznik termobimetalowy: 1 – korpus ; 2 – bimetal ; 3 – grzejnik ; 4 – styk ruchomy; 5 – styk nieruchomy ; 6 – zacisk ; 7 – dźwignia

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

b) Charakterystyka czasowo-prądowa przekaźnika termobimetalowego

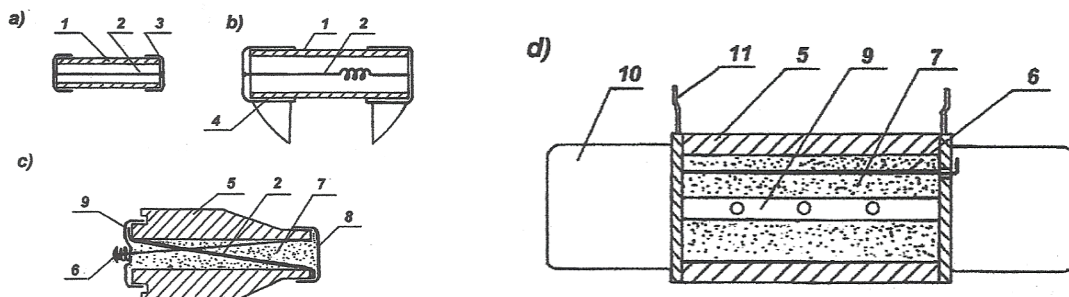
- c) Wyłącznik silnikowy: 1- dźwignia napędu ; 2 – otwory do wprowadzania przewodów
d) Wyłącznik instalacyjny: 3 – śruby zaciskowe.

3. Wyłączniki silnikowe budowane są na prądy znamionowe do 63A i służą do zabezpieczania silników elektrycznych. Rozpowszechnione są znacznie bardziej w instalacjach lądowych niż na statkach. Wyłączniki te mają zainstalowane dwa wyzwalacze : elektromagnetyczny bezzwłoczny (zwarciový) i termobimetalowy (przebieżeniowy)działający ze zwłoką czasową.
4. Wyłączniki instalacyjne posiadają zainstalowane wyzwalacze termobimetalowe chroniące zabezpieczane urządzenia elektryczne przed przebieżeniem. Budowane są na prądy do 30A i służą do zabezpieczania obwodów elektrycznych o małych mocach.
5. Dużą grupę wśród aparatów zabezpieczających stanowią bezpieczniki topikowe posiadające wkładki topikowe które są elementami wymiennymi, jednorazowego użytku.
6. Stosowane na statkach rodzaje bezpieczników topikowych przedstawione są na rys.14 i 15



Rys. 14 Bezpieczniki topikowe niskiego napięcia:

- a) symbol bezpiecznika; b) symbol bezpieczników w obwodzie 3-faz.;
c) bezpiecznik aparatowy (1 – wkładka topikowa, 2 – gniazdo bezpiecznikowe, 3 – główka, 4 – pierścień dociskowy, 5 – końcówki łączeniowe);
d) bezpiecznik instalacyjny (1 – gniazdo, 2 – wkładka topikowa, 3 – główka, 4 – wstawka dolna, 5 – zacisk łączeniowy);
e) bezpiecznik stacyjny (1 -podstawa, 2 – uchwyt szczękowy, 3 – wkładka topikowa, 4 – zacisk łączeniowy).





- Rys.15 Wkładki topikowe bezpieczników niskiego napięcia:
- a) bezpiecznik aparaturowy; b) bezpiecznik niskiego napięcia; c) bezpiecznik instalacyjny; d) bezpiecznik stacyjny;
- 1 – rurka szklana, 2 – drut topikowy, 3 – kapturek stykowy, 4 – kapturek ze stykiem nożowym, 5 – korpus porcelanowy, 6 – wskaźnik zadziałania, 7 – piasek kwarcowy, 8 – okucia stykowe, 9 – blaszka topikowa, 10 – styk nożowy, 11 – zaczep do zakładania uchwyty montażowego.

II.Bc Zabezpieczenia okrętowych odbiorników energii elektrycznej.

1. Zabezpieczenia okrętowych silników elektrycznych dotyczą 3-fazowych silników asynchronicznych klatkowych (przede wszystkim jednobiegowych, ale również, chociaż w mniejszej liczbie wielobiegowych) powszechnie stosowanych na współczesnych statkach.
2. Silniki asynchroniczne powinny być zabezpieczone przed skutkami zwarc i przeciążeń, a także przed nadmiernym obniżeniem napięcia zasilającego i brakiem napięcia w jednej z faz.
3. Zabezpieczenie zwarciove realizowane jest najczęściej przez bezpieczniki topikowe z dobranym prądem nominalnym uwzględniającym wartość i czas trwania prądu rozruchowego silnika. Zabezpieczenie zwarciove może być również realizowane za pomocą wyzwalacza lub przekaźnika elektromagnetycznego bezzwłocznego.
4. Typowym i powszechnie stosowanym zabezpieczeniem przeciążeniowym każdego silnika jest przekaźnik termobimetalowy posiadający zależną charakterystykę czasowo-prądową. Duża bezwładność w działaniu jest jego zaletą, ponieważ pozwala „przetrzymać” krótko trającą i dużą (do $7I_n$) wartość prądu rozruchu bezpośredniego silnika asynchronicznego. Nastawiany prąd nominalny przekaźnika powinien wynosić: $I_{nast} = (1 - 1,1) I_n$.
5. Zabezpieczenie podnapięciowe silników asynchronicznych może być realizowane przez cewki elektromagnesów napędowych styczników i przekaźników pracujących w obwodzie. Zabezpieczenie przed zanikiem lub obniżeniem napięcia można również realizować za pomocą specjalnych przekaźników podnapięciowych.
6. Obwody oświetleniowe i ogrzewania są bezindukcyjnymi lub rezystancyjno-indukcyjnymi odbiorami energii elektrycznej, pobierającymi stałą wartość natężenia prądu elektrycznego. Zabezpieczane są bezpiecznikami topikowymi lub wyłącznikami instalacyjnymi.
7. Transformatory pracujące w okrętowych niskonapięciowych układach elektro-energetycznych nie przekraczają na ogół mocy 150 kVA. Z tego względu są zabezpieczone przed zvarciami i przeciążeniami wyłącznikami samoczynnymi lub bezpiecznikami topikowymi od strony pierwotnej. Jeżeli transformatory przeznaczone są do pracy równoległej, to należy zastosować odłączniki po stronie wtórnej.

Zagadnienie II.C Zasady ochrony przeciwporażeniowej w elektrycznych sieciach okrętowych.

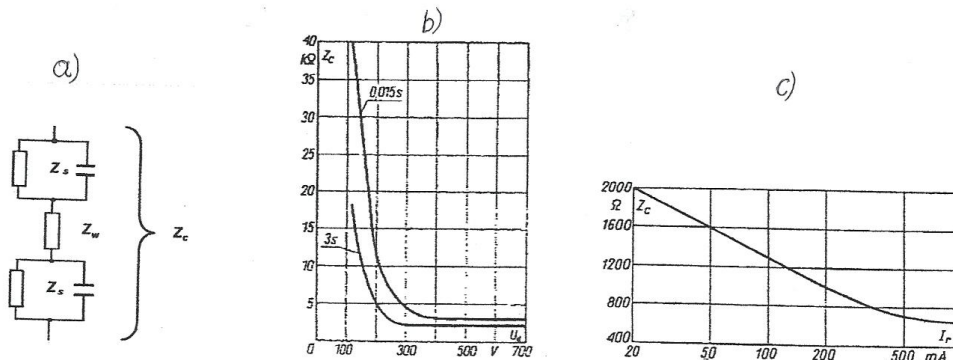
II.Ca Przyczyny i skutki oraz rodzaje porażen w elektrycznych sieciach okrętowych.

1. Przyczynami wypadków przy eksploatacji urządzeń elektrycznych przeważnie są: nieostrożność, lekceważenie przepisów, roztargnienie, omyłki, brak odpowiedniej kontroli i konserwacji



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

- urządzeń zabezpieczających, zła organizacja pracy, nieznanostwo instrukcji oraz nieszczęśliwy zbieg okoliczności.
- Następstwem tych okoliczności jest najczęściej dotknięcie części znajdujących się normalnie lub przypadkowo pod napięciem i spowodowanie przepływu prądu elektrycznego przez ciało dotykającego.
 - W wyniku przepływu prądu elektrycznego przez organizm ludzki następuje porażenie człowieka, który staje się w tym momencie elementem obwodu elektrycznego.
 - Wartość prądu (zwanego prądem rażenia) przepływającego przez ciało człowieka, zależy od napięcia dotyku (napięcia rażenia) oraz od impedancji ciała człowieka:
$$I_r = \frac{U_d}{Z_c}$$
 gdzie: I_r – prąd rażenia; U_d - napięcie dotyku; Z_c – impedancja ciała człowieka
 - Impedancja ciała człowieka nie jest wartością stałą. Zależy od częstotliwości prądu, napięcia dotykowego, wilgotności skóry, miejsca dotyku do ciała, drogi przepływu prądu przez ciało. Może się zmieniać w szerokich granicach: od setek Ω do kilku $M\Omega$.



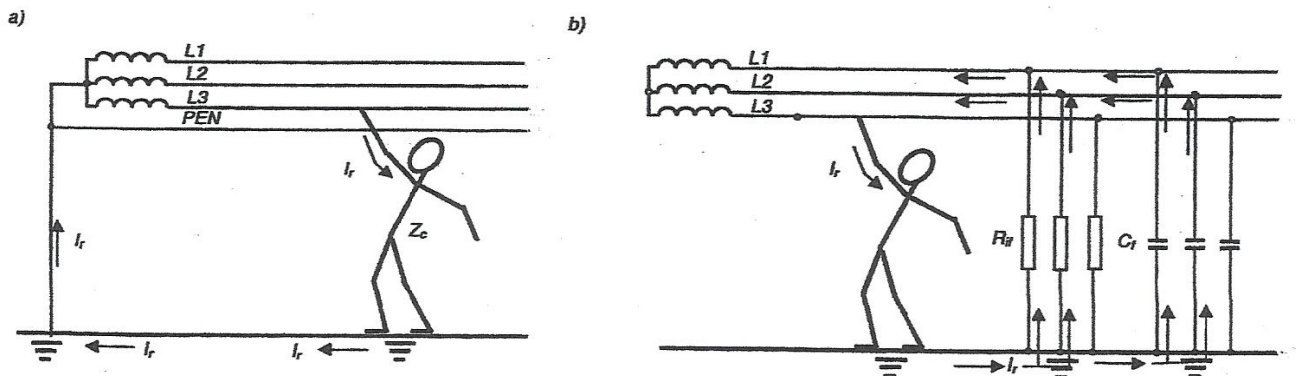
Rys.16 Impedancja ciała człowieka:

- schemat zastępczy ciała człowieka: Z_s – impedancja skóry w miejscu dotyku
 Z_w – impedancja wewnętrzna
 Z_c - impedancja całkowita ciała
 - zależność impedancji ciała ludzkiego Z_c od napięcia dotyku U_d
 - zależność impedancji ciała ludzkiego Z_c od prądu rażenia I_r
- Impedancja ciała ludzkiego zmniejsza się przy:
 - wzroście napięcia rażenia;
 - zwiększaniu wilgotności naskórka;
 - przedłużaniu czasu rażenia;
 - zwiększaniu powierzchni dotyku;
 - zwiększaniu siły docisku w miejscu dotyku.
 - Impedancja skóry jest znaczącym składnikiem impedancji całkowitej ciała ludzkiego przy napięciach mniejszych niż 150V oraz przy wilgotności względnej otaczającego powietrza mniejszej niż 75%. Przy wyższych wartościach napięcia i większej wilgotności, impedancja ciała człowieka zależy tylko od impedancji wewnętrznej, której wartość określa się na 1000 Ω .



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

8. Działanie fizjologiczne prądu elektrycznego na człowieka jest zależne od rodzaju prądu (stały, przemienny i o jakiej częstotliwości), jego natężenia, czasu trwania i drogi przepływu.
9. Najbardziej niebezpieczny jest prąd przemienny o częstotliwości 50-60Hz. Przy częstotliwości mniejszej lub większej, niebezpieczeństwo porażenia maleje.
10. Szczególnie niebezpieczny jest przepływ prądu przez klatkę piersiową (ręka – ręka, ręka – noga, głowa – ręka), ponieważ powoduje porażenie mięśni oddechowych i centralnego systemu nerwowego.
11. Droga i wielkość prądu rażenia zależą od rodzaju sieci, w której porażenie nastąpiło: w sieciach trójfazowych cztero i pięcioprzewodowych z uziemionym punktem zerowym, dotknięcie przewodu fazowego (przy równoczesnym, skutecznym kontakcie z przedmiotami uziemionymi) powoduje porażenie przy napięciu dotyku równym napięciu fazowemu (230V).
12. W sieciach okrętowych, trójfazowych z izolowanym punktem zerowym, wielkość prądu rażenia jest zależna od rezystancji izolacji oraz pojemności faz sieci względem kadłuba statku.



Rys.17 Porównanie dróg przepływu prądów rażenia w sieciach elektrycznych z uziemionym i izolowanym punktem zerowym

II.Cb Prądy i napięcia bezpieczne

1. Skutki rażenia w zależności od wielkości przemiennego prądu rażenia.
 - 0,5 mA - granica wyczuwalności prądu** – prądy bezpieczne, odczuwalne skurcze mięśni;
 - 10 mA - granica samouwolnienia** – prądy bezpieczne, jednak powodują bolesne skurcze mięśni, niemożność samouwolnienia;
 - 25 mA - granica bezpieczeństwa** - występuje utrudniony oddech, wzrost ciśnienia tętniczego krwi, niemożliwość samouwolnienia, możliwość skurczu mięśni klatki piersiowej i uduszenie się;
 - 75 mA - granica prądów bardzo niebezpiecznych** – bezpośrednie zagrożenie życia, możliwość wystąpienia fibrylacji komór sercowych, zatrzymanie oddechu.
- Wartość graniczną długotrwałego, dopuszczalnego prądu rażenia przyjmuje się jako **10 mA**.
2. Graniczne, dopuszczalne, długotrwałe wartości napięć dotykowych:
 - a) dla prądu przemiennego:
 - 50V - w warunkach normalnych
 - 25V - w warunkach szczególnych
 - b) dla prądu stałego: 120V - w warunkach normalnych



60V - w warunkach szczególnych

- Warunki normalne: skóra jest sucha , niezabrudzona , temperatura umiarkowana , podłogi wykonane z materiałów nieprzewodzących itp. czyli nie ma zwiększonego zagrożenia porażeniem.
 - Warunki szczególne: skóra jest wilgotna , zabrudzona substancjami przewodzącymi, temperatura otoczenia wyższa od normalnej , podłogi wykonane z materiałów przewodzących czyli istnieje zwiększone zagrożenie porażeniem.
3. Szczególne zagrożenie porażenia prądem elektrycznym występuje przy użytkowaniu urządzeń elektrycznych przenośnych (ręcznych) zasilanych napięciem wyższym od bezpiecznego.
 4. Przypadki porażień można podzielić na:
 - a) porażenia bezpośrednie - zetknięcie się człowieka z częścią obwodu elektrycznego, na której występuje napięcie robocze w normalnych warunkach pracy;
 - b) porażenie pośrednie - zetknięcie się człowieka z częścią urządzenia , która znalazła się pod napięciem na skutek np. uszkodzenia izolacji.
 5. W celu ograniczenia śmiertelnych wypadków , skutków porażień prądem elektrycznym i zmniejszenia wpływu prądów zwarciovych na sieć , stosuje się różnego rodzaju zabezpieczenia mające za zadanie zmniejszenie wartości prądów zwarciovych , skrócenie czasu ich trwania oraz zmniejszenie możliwości przypadkowego dostępu do elementów będących normalnie lub przypadkowo pod napięciem.

II.Cc Środki ochrony przeciwporażeniowej w elektrycznych sieciach okrętowych.

Dla zapewnienia bezpieczeństwa obsługi i eksploatacji urządzeń elektrycznych stosuje się rozwiązania techniczne i organizacyjne, które mają zapewnić maksymalną ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym w każdych warunkach eksploatacyjnych

1. Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim mają zapobiegać przed:
 - a) zetknięciem się człowieka z przewodzącymi częściami obwodów elektrycznych znajdujących się pod napięciem;
 - b) przerzutem napięcia na przedmioty lub części przewodzące , które normalnie nie są pod napięciem;
 - c) szkodliwym oddziaływaniem na otoczenie łuku elektrycznego lub iskrzących styków.Dla spełnienia tych wymagań stosuje się następujące środki techniczne:
 - pokrycie izolacją roboczą części będących pod napięciem;
 - zastosowanie ogrodzeń , poręczy i osłon w pomieszczeniach ruchu elektrycznego;
 - umieszczanie urządzeń elektrycznych poza zasięgiem ręki;
 - stosowanie materiałów izolacyjnych na elementach aparatów i urządzeń , z którymi styka się człowiek podczas obsługi;
 - stosowanie właściwych odstępów izolacyjnych;
 - zabezpieczenie przewodów przed uszkodzeniami mechanicznymi;
 - zastosowanie odpowiednich obudów urządzeń elektrycznych o konstrukcji zapobiegającej przed dotykiem i przedostawaniem się wody do urządzenia ; stopnie ochrony obudów urządzeń elektrycznych określają polskie normy (zgodne z międzynarodowymi) zgodnie , z którymi każdy typ obudowy oznacza się literami **IP** oraz dwoma cyframi , z których pierwsza (**0 -6**)



- określa stopień ochrony przed dotykiem i wnikaniem do wnętrza ciał stałych, a druga (**0 -8**) określa stopień ochrony przed przedostaniem się do wnętrza wody. **IP(0-6)(0-8)**.
2. Ochrona przed dotykiem pośrednim w elektrycznych sieciach okrętowych może być realizowana przez zastosowanie poniższych środków:
- kontrola stanu izolacji elektrycznej sieci okrętowej;
 - kompensacja pojemnościowych prądów rażenia;
 - szybkiego samoczynnego wyłączenia zasilania przez wyłączniki ochronne różnicowo-prądowe;
 - separacji elektrycznej przez zastosowanie transformatorów separacyjnych;
 - obniżanie napięcia roboczego poniżej poziomu napięcia bezpiecznego (np. 12 lub 24V);
 - używanie urządzeń wykonanych w II klasie ochronności (z podwójną lub wzmocnioną izolacją);
 - uziemia ochronne urządzeń elektrycznych;
 - izolowanie stanowiska (chodniki dielektryczne);
 - stosowanie indywidualnych środków ochrony (rękawice i kalosze dielektryczne , narzędzia izolowane).

Temat III (10h) Elektryczne instalacje okrętowe

Każdy współczesny statek wyposażony w główne źródła energii elektrycznej prądu przemiennego posiada elektryczną sieć okrętową tzw. siłową (np.3x380V), z której zasilane są trójfazowe odbiorniki energii elektrycznej takie jak: silniki , urządzenia grzejne oraz urządzenia, które wymagają zasilania takim rodzajem i wielkością napięcia. Z transformatorów energetycznych zainstalowanych na statku uzyskuje się napięcie trójfazowe (3x220V) lub (3x110V) nazywane po prostu **napięciem oświetleniowym**, chociaż tym napięciem zasilanych jest wiele odbiorników energii elektrycznej , które z oświetleniem nie mają nic wspólnego (np. grzejniki , telewizory , radioodbiorniki, żelazka , odkurzacze , różne narzędzia elektryczne itd.). Każdy z odbiorników tzw. jednofazowych potrzebuje do zasilania na statku , jednego napięcia międzyfazowego np. 220V lub 110V.

Zagadnienia:

- A.** Okrętowe , elektryczne, sieci oświetleniowe:
- instalacje oświetlenia głównego;
 - instalacje oświetlenia awaryjnego;
 - światła sygnałowo-pozycyjne;
 - osprzęt oświetleniowy.
- B.** Instalacje ogrzewania elektrycznego.
- C.** Instalacje sygnalizacji i łączności wewnętrznej.

Zagadnienie III.A Okrętowe , elektryczne , sieci oświetleniowe.

III.Aa Instalacje oświetlenia głównego.



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

1. Elektryczna , główna sieć oświetleniowa otrzymuje zasilanie z trójfazowych transformatorów energetycznych , które zasilane są trójfazowym napięciem siłowym z rozdzielnic głównej RG. Transformatory zamieniają 3-fazowe napięcie siłowe 3x380V 50Hz lub 3x440V 60Hz, na trójfazowe napięcia oświetleniowe 3x220V 50Hz lub 3x110V 60Hz. Trójfazowe napięcie jest dostarczane z transformatorów do oddzielnego pola w rozdzielnic głównej RG nazwanego polem oświetleniowym albo polem np. 3x220V. Z tego pola zasilane są wszystkie odbiorniki trójfazowe i jednofazowe , które zbudowane są na tę wielkość napięcia , a zasilanie to nazywa się głównym (podstawowym) ponieważ pochodzi od głównego źródła energii.
2. Instalacja oświetlenia głównego dotyczy oświetlenia całego statku w jego wnętrzu i na zewnątrz. Instalacja ta działa przy zasilaniu z głównego źródła energii elektrycznej pozwalając załodze statku na normalną obsługę i eksploatację jego urządzeń , a także na normalne bytowanie załogi i pasażerów.
3. Z pola oświetleniowego RG zasilane są rozdzielnice końcowe rozmieszczone w wielu miejscach na statku zasilając grupy odbiorników do nich podłączonych.
4. Odbiorniki w poszczególnych rozdzielnicach końcowych są według ich mocy znamionowych rozdzielone równomiernie między trzy fazy instalacji.
5. Każdy obwód rozdzielnic oświetlenia zasilany jest np. z wyłącznika instalacyjnego i zawiera do kilkunastu punktów świetlnych lub np. gniazd wtyczkowych . Liczba tych odbiorów końcowych zależy od ich mocy indywidualnych.
6. Każda rozdzielnica końcowa jest oznakowana a jej poszczególne obwody odpowiednio opisane i naniesione na schemat ideowy, który w każdej rozdzielnic powinien się znajdować.
7. Oświetlenie główne można podzielić na oświetlenie:
 - ogólne wewnętrzne i zewnętrzne;
 - miejscowe służące do indywidualnego oświetlenia miejsc pracy;
 - oświetlenie przenośne , które stanowią lampy przenośne (słońca , kabłówki itp.).
8. Jasność oświetlenia ogólnego i miejscowego pomieszczeń mieszkalnych, siłowni , pokładów zewnętrznych oraz przestrzeni zaburtowych w rejonie łodzi i tratw ratunkowych powinna być zgodna z wymaganiami przepisów Klasyfikatorów.

III.Ab Instalacje oświetlenia awaryjnego.

1. Instalacja oświetlenia awaryjnego może być zasilana:
 - a) z pola oświetleniowego (np. 220V) rozdzielnic awaryjnej RA , zasilanej z awaryjnego zespołu prądowłórczego; napięcie oświetleniowe awaryjne uzyskuje się z trójfazowego transformatora awaryjnego;
 - b) z rozdzielnic awaryjnej zasilanej z baterii akumulatorów awaryjnych o odpowiedniej pojemności i napięciu zazwyczaj 24V DC.
2. Jeżeli instalacja oświetlenia awaryjnego zasilana jest z awaryjnego zespołu prądowłórczego to oprawy oświetleniowe (zazwyczaj tego samego typu co dla oświetlenia głównego) powinny być rozmieszczone i powinny oświetlać:
 - * maszynownię (5% natężenia oświetlenia ogólnego);
 - * drogi ewakuacyjne (co najmniej 0,2 lx);
 - * pomieszczenia niżej wymienione – 10% natężenia oświetlenia ogólnego;
 - wszystkie korytarze , schody i wyjścia z pomieszczeń mieszkalnych oraz służbowych



- i kabiny dźwigów osobowych oraz ich szybów;
 - pomieszczenia maszynowe i zespołów prądotwórczych;
 - wszystkie stanowiska sterowania oraz rozdzielnicę główną i awaryjną;
 - pomieszczenie awaryjnego zespołu prądotwórczego;
 - sterownię;
 - kabinę nawigacyjną i pomieszczenia radiostacji;
 - miejsca składowania sprzętu awaryjnego, sprzętu pożarniczego i usytuowanie ręcznych przycisków sygnalizacji pożarowej;
 - pomieszczenia urządzenia sterowego;
 - miejsca przy pompie pożarniczej, awaryjnej pompie zęzowej i pompie instalacji tryskaczowej oraz miejsca rozruchu ich silników;
 - hangary i lądowiska dla śmigłowców;
 - pomieszczenia żyrokompasu;
 - pomieszczenia szpitalne.
3. Każda oprawa lampy oświetlenia awaryjnego powinna być oznaczona kolorem czerwonym. W wypadku kiedy źródłem energii elektrycznej jest bateria akumulatorów pracująca przy napięciu 24V DC to osprzęt oświetleniowy jest wtedy odmiennego typu. Wszystkie obwody oświetleniowe zasilane są bezpośrednio z rozdzielnicy awaryjnej.
4. W obwodach oświetlenia awaryjnego nie stosuje się wyłączników umożliwiających odłączenie lamp.
5. Oświetlenie awaryjne powinno załączyć się automatycznie po zaniku napięcia na szynach rozdzielnicy głównej.
6. Na statkach pasażerskich i promach powinno być stosowane dodatkowe oświetlenie awaryjne (określane jako ewakuacyjne) pomieszczeń ogólnego użytku oraz korytarzy. Oprawy tego oświetlenia są zasilane z akumulatorów umieszczonych w korpusach opraw. Akumulatory są normalnie podładowywane z sieci oświetlenia głównego i powinny w czasie awarii oświetlenia głównego zapewnić działanie lampy przez trzy godziny.

III.Ac Światła sygnałowo-pozycyjne.

1. Każdy statek morski powinien być wyposażony w co najmniej w następujący zestaw latarni sygnałowo-pozycyjnych:
- | | | | | |
|----------------------|---|----------|---|-----------------------|
| - masztowa przednia | ; | biała | ; | kąt rozsyłu - 225 [°] |
| - masztowa tylna | ; | biała | ; | „ - 225 [°] |
| - burtowa prawa | ; | zielona | ; | „ -112,5 [°] |
| - burtowa lewa | ; | czerwona | ; | „ -112,5 [°] |
| - rufowa | ; | biała | ; | „ -135 [°] |
| - awaryjna górna | ; | czerwona | ; | „ - 360[°] |
| - awaryjna dolna | ; | czerwona | ; | „ - 360[°] |
| - kotwiczna przednia | ; | biała | ; | „ - 360[°] |
| - kotwiczna tylna | ; | biała | ; | „ - 360[°] |
2. Źródłami światła w latarniach sygnałowo-pozycyjnych są specjalne żarówki o mocy 40 lub 60W. Oprawy latarni są wyposażone w barwne szkła soczewkowe o takiej konstrukcji, aby światło latarni było widoczne w płaszczyźnie pionowej w zakresie $\pm 10^\circ$ w stosunku do poziomu.



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

3. Każde światło nawigacyjne jest realizowane dwoma latarniami (lub jedną z dwoma żarówkami), z których jedna jest zasilana z pola oświetleniowego RG , a druga z rozdzielnic awaryjnej RA.
4. W zasilaniu żarówek latarni nawigacyjnych pośredniczy tzw. **tablica świateł nawigacyjnych**, w skrócie **TSN**, która jest wyposażona w opisane wyłączniki poszczególnych świateł, sygnalizację obecności zasilania oraz pracy i sygnalizację uszkodzenia żarówki każdego światła nawigacyjnego.
5. Tablica świateł nawigacyjnych i tablica świateł pomocniczych, umieszczone są zazwyczaj w pulpicie nawigacyjnym sterowni statku.

III.Ad Osprzęt oświetleniowy.

1. Na statkach morskich jest stosowany w dużym zakresie osprzęt oświetleniowy w tzw. wykonaniu morskim charakteryzujący się większą odpornością na różne narażenia jakie występują w środowisku morskim.
2. Źródłami światła na statkach są :
 - a) żarówki z włóknem wolframowym:
 - oświetleniowe (zwykle) na napięcia 12 , 24 , 110 , 220V o mocach od 15 do 1000W , z trzonkami E14 , E27 , E40 oraz B15 i B22;
 - sygnalizacyjne na napięcia do 30V , o mocy do 3W , z trzonkami E10 , B , BA , T i inne;
 - halogenowe na napięcia 110 , 220V o mocach do 3000W ; rurki żarnika wykonane ze szkła kwarcowego ze względu na wysoką temperaturę (do 3000°C) wypełnione są gazem obojętnym argonem i halogenami;
 - b) lampy fluoroscencyjne (świetlówki) na napięcia 110 , 220V o mocach 8 -40W;
 - c) świetlówki kompaktowe na napięcia 220V z trzonkiem E27 – energooszczędne;
 - d) lampy rtęciowe , sodowe , ksenonowe indukcyjne na napięcia 230V o mocach do 1000W;
3. Oprawy oświetleniowe służą do zamocowania źródeł światła i połączenie ich z siecią zasilającą , ochrony tych źródeł przed narażeniami środowiskowymi i właściwego skierowania strumienia świetlnego.
4. Ze względu na przeznaczenie oprawy oświetleniowe można podzielić na:
 - wewnętrzne ogólnego przeznaczenia , do oświetlenia pomieszczeń mieszkalnych i ogólnego użytku ;
 - przemysłowe , do oświetlenia pomieszczeń o charakterze przemysłowym;
 - zewnętrzne , do oświetlenia otwartych pokładów.
5. Specyficznymi rodzajami opraw oświetleniowych są projektory, wysyłające skupioną wiązkę światła. Używane są na statkach do oświetlenia odległych obiektów (np. reflektor poszukiwacz posiadający źródło światła o dużej mocy i świecący na duże odległości).
6. Pozostały osprzęt oświetleniowy taki jak wyłączniki ręczne , gniazda wtyczkowe , puszki łączeniowe i rozgałęźne itp. można podzielić wg miejsca ich zamontowania:
 - wewnętrzne do montażu w pomieszczeniach mieszkalnych i ogólnego użytku;
 - przemysłowe do stosowania w siłowniach , pomieszczeniach gospodarczych , technicznych, oraz na pokładzie zewnętrznym;

III.B Instalacje ogrzewania elektrycznego.



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

1. Urządzenia grzejne stosuje się na statkach dla ogrzewania pomieszczeń , podgrzewania płynów (paliwa ,oleju ,wody) i powietrza , a także w urządzeniach kuchennych i gospodarczych.
2. Wykorzystanie grzejników elektrycznych do ogrzewania pomieszczeń ma wiele zalet takich jak:
 - możliwość łatwego dostarczenia energii elektrycznej do indywidualnych grzejników;
 - możliwość łatwej regulacji poboru mocy przez indywidualne grzejniki;
 - możliwość samoczynnej regulacji temperatury;
 - czystość , estetyczny wygląd , małe wymiary , łatwość montażu i wyboru miejsca lokalizacji;
 - możliwość stosowania grzejników przenośnych.
3. Instalacja ogrzewania pomieszczeń zasilana jest zwykle z pola oświetleniowego o napięciu 220V rozdzielniczy głównej RG i traktowana jest w elektrycznej sieci okrętowej jako obwód mniej ważny podlegający automatycznemu wyłączeniu w wypadku przeciążenia prądnicy zasilającej aktualnie tę sieć.
4. Z w/w pola RG zasilane są indywidualne rozdzielnice ogrzewania pomieszczeń , których liczba zależna jest od liczby indywidualnych grzejników elektrycznych i ich lokalizacji na statku.
5. Każda rozdzielnica posiada zabezpieczenia zwarciowe poszczególnych obwodów , realizowane za pomocą bezpieczników topikowych lub wyłączników instalacyjnych.
6. Indywidualne grzejniki budowane w formie zależnej od miejsca ich zainstalowania czyli grzejniki do pomieszczeń mieszkalnych i bytowych oraz do pomieszczeń przemysłowych.
7. Ogrzewanie pomieszczeń na statku może też być realizowane przez wykorzystanie wspólnej nagrzewnicy elektrycznej i wdmuchiwanie ogrzanego powietrza do pomieszczeń.

III.C Instalacje sygnalizacji i łączności wewnętrznej.

1. Na statkach stosowana jest duża różnorodność sygnalizacji zarówno stanów alarmowych jaki i stanu pracy poszczególnych ważnych urządzeń lub systemów. Do ważniejszych układów można zaliczyć:
 - a) centralny układ kontrolno-sygnalizacyjny parametrów siłowni okrętowej, a także parametrów innych ważnych systemów poza siłownią; układ taki stosowany jest zwykle na statkach zautomatyzowanych.
 - b) sygnalizacja alarmu ogólnego;
 - c) sygnalizacja wykrywcza pożaru na statku;
 - d) sygnalizacja systemu gaszenia pożaru w siłowni i w innych pomieszczeniach;
 - e) sygnalizacja układów kontroli stanów izolacji;
 - f) sygnalizacja „człowiek w chłodni”;
 - g) sygnalizacja zamknięcia drzwi wodoszczelnych.
 - 1a) centralny układ kontrolno-sygnalizacyjny kontroluje parametry takie jak:
 - temperatury, ciśnienia, poziomy płynów w zbiornikach, przepływy płynów, zasolenie wody, prędkość obrotową, lepkość paliwa, parametry elektryczne elektrowni i inne;kontrolowane parametry dotyczą następujących urządzeń:
silnik główny , urządzenia pomocnicze potrzebne dla pracy SG, urządzenia pomocnicze



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

- siłowni, śruba nastawna , przekładnia napędu głównego, maszyna sterowa, system zęzowy i balastowy, urządzenia ochrony środowiska i inne;
- system kontrolno-sygnalizacyjny posiada zasilanie elektryczne główne z RG oraz awaryjne z RA , posiada drukarkę stanów awaryjnych oraz sygnalizację optyczną i dźwiękową.
- 1b) sygnalizacja alarmu ogólnego służy do ogłaszania wymaganych przepisami alarmów dla załogi statku w tym alarmu opuszczenia statku; sygnalizacja alarmowa uruchamiana jest przyciskiem załączającym umieszczonym w sterowni statku wzbudzając dzwonki alarmowe rozmieszczone na całym statku oraz włączając sygnalizację optyczną; zasilanie układu sygnalizacji alarmowej jest podwójne: główne z GTR i awaryjne z RG.
- 1c) sygnalizację wykrywczą , optyczną i akustyczną , pożaru na statku uruchamiają:
- czujniki temperaturowe (+57°C) rozmieszczone w pomieszczeniach mieszkalnych i niektórych przemysłowych (np. spawalnia, pomieszczenie spalarki śmieci);
 - czujniki jonowe (dymne) rozmieszczone w siłowni , kominie , pomieszczeniu AZP i innych wybranych przez konstruktora pomieszczeniach;
 - czujniki ogniowe umieszczone zazwyczaj w siłowni w pobliżu SG;
 - elektryczne łączniki przyciskowe do ręcznego uruchomienia alarmu pożarowego rozmieszczone na całym statku; potwierdzanie i kasowanie alarmu tej sygnalizacji na centralce alarmowej umieszczonej zazwyczaj w sterowni statku; układ ten ma
- podwójne
- zasilanie: główne z RG i awaryjne z RA;
- 1d) jeżeli środkiem gaśniczym jest np. CO₂ , to przed jego wpuszczeniem do pomieszczeń siłowni konieczne jest wyłączenie wentylacji tych pomieszczeń i ich uszczelnienie przez zamknięcie wszystkich drzwi i otworów; konieczne jest również wyłączenie innych pracujących w siłowni urządzeń;
- 1e) sygnalizacja wykrywająca zaniżenie stanu izolacji w elektrycznej sieci okrętowej, siłowej i oświetleniowej , a także w sieci pomocniczej 24V AC (jeśli jest taka na statku) jest realizowana w tych sieciach odpowiednimi układami do pomiarów upływności prądu; układy te uruchamiają sygnalizację optyczną i akustyczną jeżeli w kontrolowanej sieci rezystancja izolacji obniży się poniżej nastawionej wartości granicznej;
- 1f) sygnalizacja „człowiek w chłodni” polega na możliwości uruchomienia sygnalizacji optycznej i akustycznej , przez osobę przebywającą wewnątrz którejkolwiek z komór chłodni prowiantowej, przez załączenie łącznika przyciskowego umieszczonego w widocznym miejscu tej komory;
- 1g) sygnalizacja zamknięcia drzwi wodoszczelnych jest załączana automatycznie przez odpowiednie wyłączniki krańcowe zamontowane na poszczególnych drzwiach;
2. Łączność wewnętrzna na statkach jest realizowana za pomocą następujących środków:
- telefony automatyczne podłączone do telefonicznej centrali automatycznej zbudowanej na niedużą liczbę numerów (np.100) ; zasilanie takiej centrali automatycznej podwójne: główne z RG i awaryjne z RA;
 - telefony bezbateryjne nie wymagają żadnego zasilania elektrycznego;
 - rozgłośnię manewrowe , urządzenia do przekazywania poleceń i informacji z centralnego punktu zainstalowanego zazwyczaj w sterowni statku do wybranych punktów na statku;
 - telegrafy maszynowe służą do przekazywania komend dotyczących wykonania żądanych manewrów napędem głównym statku; komendy wydaje się w sterowni , a odbiór i



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

potwierdzenie komend odbywa się w miejscu sterowania napędem głównym np. w CMK; telegrafy maszynowe mogą być budowane z łączami selsynowymi lub jako elektroniczne.

Temat IV (4h) Elektryczny napęd śruby okrętowej

Zagadnienia:

- A. Porównanie cech napędów elektrycznych i mechanicznych głównych.
- B. Elektryczne napędy główne z silnikami prądu stałego zasilanymi poprzez przekształtniki tyrystorowe (prostowniki sterowane).
- C. Elektryczne napędy główne z silnikami synchronicznymi zasilanymi poprzez przekształtniki tyrystorowe (przełączniki częstotliwości).

Zagadnienie IV.A Porównanie cech napędów elektrycznych i mechanicznych głównych

1. W napędzie mechanicznym energia mechaniczna przekazywana jest z silnika lub turbiny na śrubę napędową, bezpośrednio lub przez przekładnię.
2. Przy napędzie elektrycznym śruby statku energia mechaniczna silnika spalinowego lub turbiny zamieniana jest w prądnicę na energię elektryczną, aby z kolei ulec przemianie w silniku elektrycznym na energię mechaniczną, służącą bezpośrednio do obracania śruby napędowej statku.
3. Przy rozważaniu celowości stosowania napędu elektrycznego statków konieczne jest porównanie nie tylko kosztu inwestycji i kosztów eksploatacji samego napędu, ale całego statku przy zastosowaniu napędu elektrycznego i mechanicznego.
4. Niektóre zalety napędu elektrycznego statku w odniesieniu do napędu mechanicznego:
 - większa możliwość pełnej automatyzacji napędu głównego oraz wszystkich mechanizmów i procesów zachodzących w siłowni;
 - łatwość realizacji sterowania napędem głównym z różnych punktów sterowniczych na statku;
 - możliwość stosowania typowych zespołów prądotwórczych o różnych mocach, a także silników spalinowych nie nawrotnych;
 - możliwość łatwego rozdziału mocy i gospodarki energią elektryczną przez zastosowanie kilku zespołów prądotwórczych;
 - większe możliwości manewrowe elektrycznego układu napędowego przez:
 - łatwiejszą procedurę manewrów (start-stop),
 - łatwiejsze, wielokrotne i szybsze dokonywanie nawrotu napędu,
 - szerszy zakres regulacji prędkości obrotowej;
 - większa niezawodność i łatwiejsza konserwacja napędu elektrycznego;
 - możliwość rozmieszczenia elementów napędu na statku, umożliwiającego pozyskanie dodatkowych wolnych pomieszczeń oraz eliminacja stosowania długiego wału napędowego;
 - komfort podróży, szczególnie ważny na statkach pasażerskich.
5. Wady napędu elektrycznego statku w stosunku do napędu mechanicznego:



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

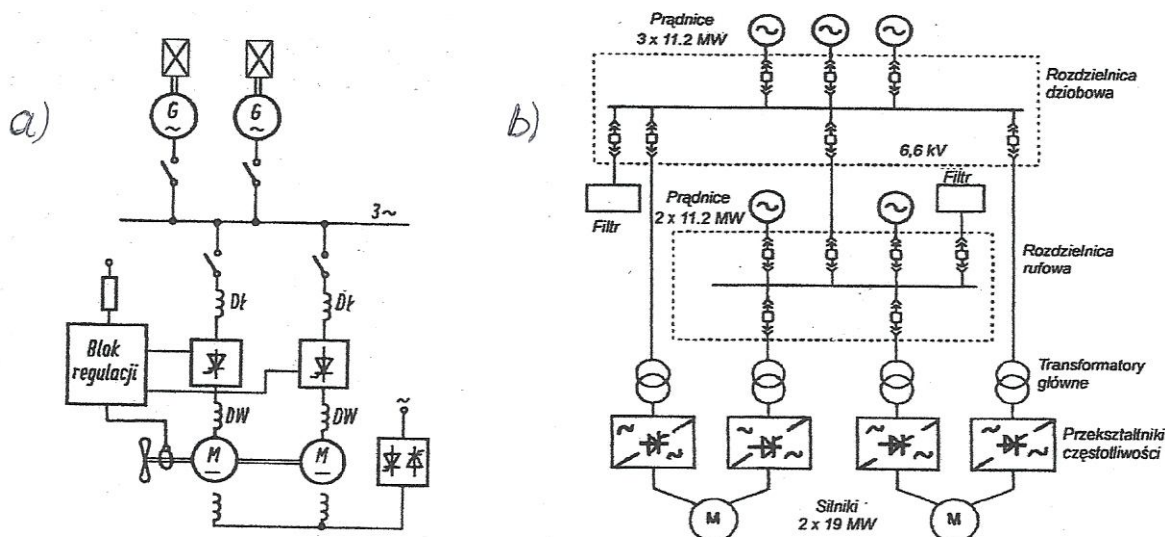
- bardziej złożony i skomplikowany układ napędowy, wymagający zatrudnienia zwiększonej liczebnie i odpowiednio wykwalifikowanej załogi;
- większy koszt inwestycyjny i eksploatacyjny;
- większe zużycie paliwa przy stałej prędkości i małej liczbie manewrów;
- mniejsza trwałość i większa hałaśliwość szybkoobrotowych silników spalinowych stosowanych przy tych napędach;
- mniejsza sprawność w stosunku do napędu bezpośredniego śruby napędowej przez silnik główny spalinowy, ale średnia sprawność napędu mechanicznego ze śrubą nastawną jest podobna do napędu elektrycznego ze śrubą o stałym skoku i wynosi 92-93%;
- stosowanie dużych prostowników sterowanych lub przemienników częstotliwości powoduje w okrętowej sieci elektrycznej poważne zakłócenia (wyższe harmoniczne) zniekształcające sinusoidę napięcia, co wymaga stosowania dodatkowo odpowiednich środków zaradczych.

Zagadnienie IV.B napędy główne z silnikami prądu stałego zasilanymi poprzez przekształtniki tyrystorowe (prostowniki sterowane).

1. Elektryczne napędy główne z silnikami prądu stałego, zasilanymi z baterii akumulatorów stosowane były na małych jednostkach pływających. Na większych statkach z prądnicami prądu stałego jako głównym źródłem energii elektrycznej, stosowano różne odmiany układów Ward-Leonarda.
2. Pojawienie się przekształtników tyrystorowych umożliwiło zastosowanie silników prądu stałego do napędów głównych na statkach, na których główne źródło energii elektrycznej stanowiły trójfazowe prądnice synchroniczne, napędzane własnymi silnikami spalinowymi.
3. Zaczęto budować statki (szczególnie promy i statki pasażerskie) o napędach głównych spalinowo-elektrycznych z zastosowaniem silników prądu stałego zasilanych przez prostowniki sterowane.
4. Cała energia elektryczna elektrowni głównej wytwarzana jest przez kilka zespołów prądotwórczych z trójfazowymi prądnicami synchronicznymi pracującymi przy napięciu niskim (do 1kV) lub średnim (1 – 10 KV) w zależności od mocy całego układu.
5. Z szyn zbiorczych rozdzielnic głównej zasilane są zazwyczaj odbiorniki o największej mocy znamionowej (np. stery strumieniowe) i oczywiście prostowniki sterowane, przez które zasilane są silniki prądu stałego stanowiące napęd główny statku.
6. Praca dużych przekształtników tyrystorowych powoduje poważne zakłócenia w sieci elektrycznej dlatego też jako środki zaradcze stosuje się zasilanie tych przetworników z szyn RG poprzez transformatory. Z tego samego powodu, poprzez transformatory zasilana jest rozdzielnica elektrycznej sieci okrętowej ogólnego użytku (np. 3x380V).
7. Dla uzyskania dostatecznie dużej mocy, przekształtniki zasilające tworniki silników napędu głównego składają się zwykle z gałęzi równoległych. Na zasilaniu przekształtnika znajduje się dławik komutacyjny Dł, a za przekształtnikiem dławik wygładzający Dw.
8. W celu pokonania trudności w budowie silnika prądu stałego o dużej mocy silniki te instaluje się jako podwójne (dwa silniki na wspólnym wale i we wspólnej obudowie), przy czym każdy twornik zasilany jest z oddzielnego przetwornika.
9. Uzwojenia wzbudzenia silników napędowych prądu stałego zasilane są również

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

za pomocą prostowników sterowanych, które ze względu na nawrót napędu budowane są jako rewersyjne.



Rys.18 Schematy ideowe układów napędów elektrycznych głównych:
a) z silnikami prądu stałego zasilanymi z prostowników sterowanych,
b) z silnikami synchronicznymi zasilanymi z przemienników częstotliwości.

Zagadnienie IV.C Elektryczne napędy główne z silnikami synchronicznymi zasilanymi poprzez przekształtniki tyrystorowe (przemienniki częstotliwości)

1. Elektryczne napędy główne prądu przemiennego nadają się dla statków, na których występuje potrzeba przenoszenia dużych mocy. W stosunku do napędu z silnikami prądu stałego, napęd prądu przemiennego z zastosowaniem silników synchronicznych wykazuje większą sprawność i daje możliwość stosowania wyższych napięć. Silniki synchroniczne o mocach 12 -15 MW ważą zaledwie połowę tego, co silniki prądu stałego.
2. Prędkość obrotową silników synchronicznych reguluje się przez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego. Maksymalna częstotliwość na wyjściu z przemiennika częstotliwości nie powinna przekraczać 40% wartości częstotliwości na jego wejściu.
Dla napięcia prądnic o częstotliwości 50Hz, zakres częstotliwości na wyjściu z przemiennika częstotliwości wynosi 0-20Hz
3. Na rys.18b przedstawiono uproszczony układ napędu głównego z silnikami synchronicznymi . Wspólna elektrownia złożona z 5 prądnic synchronicznych o mocach 11,2 MW każda, zasila dwie rozdzielnice napięciem 6,6 kV ,60Hz. Z szyn rozdzielnic zasilane są (nie pokazane na schemacie) odbiorniki energii elektrycznej o dużych mocach (5 sterów strumieniowych, 5 sprężarek oraz transformatory 6,6/0,45 kV zasilające sieć okrętową ogólnego użytku).
4. Dwie śruby napędzane są silnikami synchronicznymi posiadającymi po dwa izolowane wzajemnie uzwojenia stojana. Każde z obu uzwojeń jest zasilane z innej rozdzielnicy 6,6kV, innego transformatora i innego przemiennika częstotliwości. Silniki mają moc



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

19 MW przy prędkości obrotowej 150 obr/min. Prąd stały dla uzwojenia wzbudzenia każdego silnika, wytwarzają dwa połączone szeregowo prostowniki zasilane z różnych, inaczej połączonych uzwojeń wtórnych transformatora.