

Roman Kostyszyn, Janusz Mindykowski
Akademia Morska w Gdyni

ANALIZA PORÓWNAWCZA WYBRANYCH PARAMETRÓW PRĄDNIC SYNCHRONICZNYCH W WYKONANIU LĄDOWYM I MORSKIM

COMPARATIVE ANALYSIS OF SELECTED PARAMETERS OF SYNCHRONOUS GENERATORS APPLIED IN LAND AND MARINE ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawowe różnice w eksploatacji prądnic synchronicznych w lądowych i morskich systemach elektroenergetycznych. Podano podstawowe informacje wyznaczające reaktancje generatorów synchronicznych oraz dodatkowo porównania wartości reaktancji podłużnych wybranych prądnic w wykonaniu lądowym i morskim. Sformułowane wnioski końcowe odniesiono do aktualnych danych literaturowych w rozważanej kwestii.

Abstract: In this paper the fundamental differences in the operation process of synchronous generators in the land and marine electrical power systems are presented. A basic information concerning the ways of defining of synchronous generator reactances are described and comparison of longitudinal reactance values of selected generators used under land and marine conditions are carried out. Formulated final conclusions are referred to the current literature data in the discussed matter.

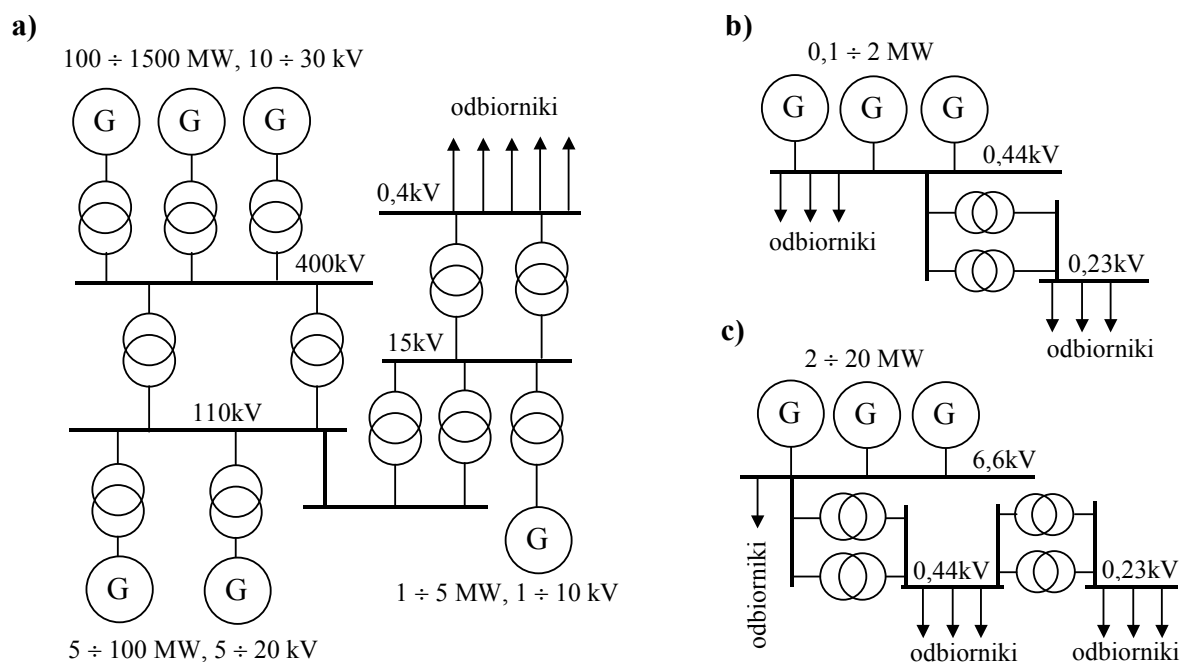
Słowa kluczowe: parametry prądnic synchronicznych, lądowe i morskie systemy elektroenergetyczne, analiza porównawcza

Keywords: parameters of synchronous generators, land and marine electrical power systems, comparative analysis

1. Wstęp

System elektroenergetyczny obejmuje źródła i

odbiorniki energii elektrycznej oraz łączącą je sieć przesyłowo-dystrybucyjną zawierającą li-



Rys. 1. Schematy systemów energetycznych, podana moc dotyczy pojedynczych generatorów; a) schemat wybranego fragmentu systemu lądowego, b) schemat systemu okrętowego nn, c) schemat systemu okrętowego WN

nie energetyczne, łączniki, transformatory, elementy systemu zabezpieczeń, automatyki, sterowania, pomiarów, przesyłu i przetwarzania danych. Obszar obejmowany przez system może być bardzo rozległy, krajowy lub międzynarodowy, porównywalny wielkością do kontynentu. Występują też systemy stosunkowo niewielkie obejmujące izolowane wyspy na morzu lub w trudno dostępnym terenie, często takie systemy wyspowe są tworzone chwilowo w warunkach występujących zakłóceń aby zapobiec ich rozprzestrzenianiu. System elektroenergetyczny jednostki pływającej, statku morskiego, jest trwale wyizolowany, skupiony na niewielkiej przestrzeni, charakteryzujący się dużą gęstością wytwarzania, przesyłania i przetwarzania mocy elektrycznej. Objętość statku jest porównywalna z wielorodzinnym budynkiem mieszkalnym, biurowcem czy niewielkim zakładem produkcyjnym, ale poziom przetwarzanej mocy i struktura systemu dorównuje miastu o populacji od kilku do kilkuset tysięcy, jeżeli przyjmiemy wynikającą ze średnich warunków polskich moc zapotrzebowaną 5MW na 10000 mieszkańców. W systemie lądowym prądnice są oddzielone od odbiorników rozległą siecią ze skupionymi elementami tłumiącymi w postaci transformatorów, dławików, kondensatorów, także parametry własne linii energetycznych stanowią istotny składnik wygładzający przebiegi prądów i napięć (rys. 1). Moc pojedynczych odbiorników jest zwykle pomijalnie mała w stosunku do mocy znamionowej prądnicy, stąd ich włączanie, wyłączenie, regulacja mocy nie ma bezpośredniego wpływu na prąd obciążenia pojedynczej prądnicy systemowej. Stan taki określa się pojęciem sieci quasisztywnej, w której zmiana prądu generatorowego wynikająca ze zmian w systemie lub zamierzonej regulacji jest powolna. Warunki pracy prądnic okrętowych są bardzo dynamiczne, prąd obciążenia zmienia się szybko i w szerokim zakresie od zbliżonego do biegu jałowego do obciążenia znamionowego a czasem chwilowego przeciążenia. Wynika to z bardzo niskich możliwości tłumienia zakłóceń w ograniczonej przestrzeni sieci a także dużej mocy pojedynczych odbiorów i ich częstym włączaniu, wyłączeniu, regulacji parametrów. Sprostanie tym warunkom a z drugiej strony racjonalizowanie kosztów wytwarzania energii wymusza częste synchronizowanie i odstawianie generatorów, regulację mocy w szerokim zakresie, często pracę przy niskich obciążeniach w stosunku do nomi-

nalnego. W ostatnich czasach w wyniku upowszechnienia napędów wielkich mocy opartych na silnikach indukcyjnych zasilanych napięciem o sterowanej częstotliwości, w sieci okrętowej pojawiły się silnie nieliniowe odbiorniki o mocy porównywalnej z mocą nominalną pojedynczej prądnicy [6,7]. Generują one prąd obciążenia sieci, a w konsekwencji prądnicy ze znaczną zawartością wyższych harmonicznych co przenosi się na zwiększenie strat wewnętrznych, co oznacza spadek sprawności i odkształcenie krzywej napięcia na zaciskach twornika od przebiegu sinusoidalnego podstawowej harmonicznej. Zniekształcenie przebiegu napięcia na zaciskach źródła w połączeniu z wynikającymi z przebiegu odkształconego prądu, odkształconymi spadkami napięć w liniach zasilających prowadzi do zasilania odbiorników energią elektryczną niskiej jakości [6,7]. Prowadzi to do spadku ich sprawności, przyspieszonego zużycia a czasem uszkodzeń po niewielkim czasie eksploatacji. Wrażliwość prądnicy synchronicznej na szybkozmiennie zakłócenia, wyższe harmoniczne, zależy głównie od jej parametrów elektromagnetycznych wynikających z budowy, impedancji wewnętrznej maszyny jako źródła napięciowego, natomiast reakcja na wolnozmiennie zakłócenia, poniżej podstawowej harmonicznej 50Hz lub 60Hz od własności regulatora napięcia, regulującego SEM generowaną przez strumień magnetyczny. Współczesne regulatory napięcia zwykle prawidłowo reagują na głębokie zmiany obciążenia a nawet zwarcia, utrzymując wartość skuteczną napięcia na zaciskach prądnicy w założonych granicach, natomiast ich wpływ na kształt przebiegu czasowego napięcia jest pomijalny.

2. Reaktancje prądnicy synchronicznej

Wpływ strumienia reakcji na strumień magnetyczny i w konsekwencji na indukowaną w tworniku SEM jest odwzorowywany przez reaktancję reakcji twornika X_a , główny składnik reaktancji wewnętrznej maszyny. W maszynie jawnobiegunowej, reaktancja reakcji twornika a więc reaktancja wewnętrzna źródła, jest zależna od charakteru obciążenia. Problem ten nie występuje w maszynie cylindrycznej gdzie długość szczeliny jest jednakowa w obydwu osiach.

W maszynie jawnobiegunowej definiuje się dwie reaktancje reakcji twornika:

- podłużną X_{ad} wynikającą ze składowej podłużnej przepływu twornika,

-poprzeczną X_{aq} wynikającą ze składowej poprzecznej przepływu twornika.

Składowe przepływu wynikają z rozłożenia prądu twornika na dwie składowe ortogonalne, podłużną I_d i poprzeczną I_q . Niezależnie od typu maszyny przepływ twornika generuje strumień rozproszenia nie wnikający do wirnika, zamykający się w obrębie stojana. Strumień ten indukuje SEM rozproszenia a jej wpływ na SEM wypadkową jest odwzorowywany przez reaktancję rozproszenia X_1 . Reaktancja rozproszenia jest znacznie mniejsza od podłużnej reaktancji reakcji twornika, około 18 razy [2]. Suma reaktancji reakcji twornika i rozproszenia, stanowi reaktancję wewnętrzną prądnicy nazywaną reaktancją synchroniczną X_s .

Maszyna cylindryczna $\rightarrow X_a + X_1 = X_s$

Maszyna jawnobiegunowa $\rightarrow X_{ad} + X_1 = X_d$

$$X_{aq} + X_1 = X_q \frac{X_d}{X_q} \approx 1,5 \div 2 \quad X_q < X_s \leq X_d.$$

W maszynie jawnobiegunowej reaktancja wewnętrzna X_s jest zbliżona do reaktancji synchronicznej podłużnej $X_s \approx X_d$. W maszynie cylindrycznej reaktancje podłużna i poprzeczna są równe i oznaczane jako jedna reaktancja synchroniczna $X_s \approx X_d \approx X_q$. W wielu publi-

kacjach stosuje się jednakowe oznaczenie X_d w odniesieniu do reaktancji synchronicznej lub synchronicznej podłużnej w zależności od typu maszyny. Dla maszyn synchronicznych w stacjach przejściowych, definiuje się reaktancje odwzorowujące zachodzące w maszynach dynamiczne procesy elektromagnetyczne:

- podprześciową X''_d zanikającą ze stałą czasową $T''_d \approx (0,02 \div 0,1)s$,
- prześciową X'_d zanikającą ze stałą czasową $T'_d \approx (0,1 \div 2)s$.

Reaktancje poprzeczne mają minimalny wpływ na kształtowanie napięcia na zaciskach prądnicy, można przyjąć $X''_q \approx X''_d$ oraz $X'_q \approx X_q$. Odpowiednie reaktancje wyznacza się na podstawie danych z próby zwarcia symetrycznego z biegu jałowego zgodnie z równaniami [1]:

$$\begin{aligned} X''_d &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_N}{I_z + I'_d + I''_d} \\ X'_d &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_N}{I_z + I'_d} \\ X_d &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_N}{I_z} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie: I_z, I'_d, I''_d - prądy odpowiednio: zwarcia ustalonego, przejściowy, podprześciowy, U_N , I_N - napięcie i prąd znamionowy generatora.

Obliczone wartości reaktancji podaje się zwykle w odniesieniu do prądu i napięcia znamionowego maszyny jako wartości względne lub względne procentowe:

$$\begin{aligned} x''_{d\%} &= \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_N}{I_z + I'_d + I''_d}}{\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_N}{I_N}} = \frac{I_N}{I_z + I'_d + I''_d} \cdot 100\% \\ x'_{d\%} &= \frac{I_N}{I_z + I'_d} \cdot 100\% \\ x_{d\%} &= \frac{I_N}{I_z} \cdot 100\% \end{aligned} \quad (2)$$

Wartość prądu wzbudzenia ma niewielkie znaczenie dla prądów przejściowych ale decyduje o ustalonym prądzie zwarcia I_z . Przy zwarcu z biegu jałowego ustalony prąd zwarcia jest zwykle mniejszy od znamionowego $I_{z0} \sim (0,5 \div 1,0)I_N$, ale przy zwarcu z obciążenia zbliżonego do znamionowego, $I_1 \sim I_N$, $\cos \phi \sim 0,8$ może sięgać podwójnej wartości znamionowej $I_{z1} \sim (1,5 \div 2,0)I_N$ [2].

3. Różnice w eksploatacji prądnic synchronicznych w systemie lądowym i morskim

Eksploatacja prądnic synchronicznych w elektrowni okrętowej w porównaniu do lądowej energetyki zawodowej wyróżnia się:

- znacznie mniejszą mocą przetwarzaną w systemie,
- dużą koncentracją przestrzenną źródeł i odbiorników,
- połączeniem źródeł między sobą i z odbiornikami w większości bez pośrednictwa transformatorów,
- względnie wysokimi udarowymi prądami zwarcia, w porównaniu do wartości ustalonych,
- mocą pojedynczych odbiorników zbliżoną do mocy generatorów,
- dużą zmiennością obciążenia generatorów,
- częstym włączaniem do ruchu i odstawianiem generatorów co jest związane z częstymi procesami synchronizacji,
- wysokim poziomem zagrożeń związanych z awaryjnym odłączeniem źródła od sieci,
- pracą generatorów przy stosunkowo niskim obciążeniu w stosunku do znamionowego,

- dopuszczeniem znacznych wahań częstotliwości i napięcia na zaciskach źródła, szczególnie w stanach przejściowych.

Warunki eksploatacji prądnic okrętowych skłaniają do stosowania generatorów o stosunkowo niskich wartościach reaktancji wewnętrznych, co zapewnia stabilizację poziomu napięcia, kosztem ograniczenia prądów zakłóceniovych w systemie a także w tworniku samej prądnicy. Wniosek taki jest oczywisty, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że prąd udarowy ma tylko znaczenie dla występujących sił elektrodynamicznych, oddziaływanie termiczne jest pomijalne ze względu na czas trwania i pojemność cieplną maszyny. Natomiast prąd ustalony zwarcia przy zasilaniu bezpośrednio z prądnicy jest zawsze bardzo ograniczony i czasem trzeba go nawet zwiększać przez forsowanie prądu wzbudzenia aby zapewnić działanie nadprądowych zabezpieczeń zwarciovych. Jak już wspomniano reaktancje przejściowe X''_d , X'_d zależą od parametrów obwodów zwartych w wirniku, można je zwiększać przez wzrost indukcyjności i rezystancji tych obwodów. Stosunek indukcyjności do rezystancji określa stałą czasową zanikania prądów przejściowych. W jawnobiegunowych generatorach morskich powszechnie stosuje się klatki tłumiące w celu tłumienia kołysania wału wywołanego zmiennością obciążenia lub niedokładną synchronizacją. Klatka tłumiąca znacząco zmniejsza wartość reaktancji podprzejściowej, zastosowanie dużej rezystancji klatki wpłynie na obniżenie momentu asynchronicznego przy niewielkich poślizgach. Z drugiej strony, nawet gdy impedancja obwodów zwartych w wirniku dąży do zera, pozostaje w schemacie zastępczym prądnicy reaktancja rozproszenia X_l związana ze strumieniem generowanym przez przepływ twornika ale nie wnikałym do wirnika, zamykającym się w szczelinie powietrznej, wzrost długości szczeliny proporcjonalnie zwiększa ten strumień. W skrajnym przypadku reaktancja podłużna w maszynie synchronicznej w początkowym momencie zwarcia (podprzejściowa - X''_d) będzie równa reaktancji rozproszenia $x_{1\%} \sim (9 \div 12)\%$. Jest to wartość bliska spełnieniu warunku dotyczącego ograniczenia prądu udarowego maszyny. Reaktancja ustalona podłużna X_d jest związana ze szczeliną powietrzną, w osi magneśnicy, między stojanem i wirnikiem, zależność jest odwrotnie proporcjonalna, zmniejszanie długości szczeliny powoduje wzrost reaktancji X_d .

$$\begin{aligned} X_1 &\leq X''_d, X'_d < X_d \\ x_{1\%} &\leq x''_{d\%}, x'_{d\%} < x_{d\%} \\ (9 \div 12)\% &\leq x''_{d\%}, x''_{d\%} < (160 \div 220)\% \end{aligned} \quad (3)$$

Tab. 2. Wartości względne procentowe reaktancji podłużnych prądnic synchronicznych [2, 4, 5].

Rodzaj reaktancji	$x''_{d\%}$	$x'_{d\%}$	$x_{d\%}$
Turbogeneratory [5]	10 ÷ 20	15 ÷ 25	200 ÷ 350
Turbogeneratory 10 ÷ 30 MVA [2]	12 ÷ 16	16 ÷ 24	160 ÷ 220
Turbogeneratory [4]	-	-	100 ÷ 200 (śr. 133)
Generatory o biegunach wydrotnych [5]	15 ÷ 25	25 ÷ 35	70 ÷ 120
Generatory o biegunach wydrotnych [4]	-	-	śr. 100

Wzrost długości szczeliny powietrznej prowadziłyby z jednej strony do zmniejszania reaktancji X_d a z drugiej strony powiększania X_l co zawęży przedział dostępny dla reaktancji przejściowych. Niestety długa szczelina wymaga stosowania dużych przepływów wzbudzenia I_f z_f co wymusza rozbudowę układów wzbudzenia, zmniejsza sprawność a zwiększa koszt maszyny.

4. Porównanie reaktancji podłużnych prądnic lądowych i morskich

W tabeli 3 [3] przedstawiono reaktancje generatorów synchronicznych produkowanych przez firmę CUMMINS AvK o mocy 2500kVA z przeznaczeniem do pracy w systemie lądowym i morskim. Mniejsze wartości reaktancji dotyczą prądnic o obwodach magnetycznych nasyconych, gdzie rozmagnesowujące oddziaływanie prądu twornika daje mniejszy efekt w strumieniu magneśnicy, a co za tym idzie mniejszy wpływ na indukowaną SEM wypadkową.

Tab. 3. Wartości względne procentowe reaktancji podłużnych prądnic synchronicznych produkowanych przez firmę CUMMINS.

Reaktancja	Prądnica w wykonaniu lądowym		Prądnica w wykonaniu morskim	
	W zależności od nasycenia obwodu [%]	Średnia [%]	W zależności od nasycenia obwodu [%]	Średnia [%]
$x_{d\%}$	193 ÷ 215	204	144 ÷ 160	152
$x'_{d\%}$	21,3 ÷ 21,3	21,3	20,2 ÷ 20,2	20,2
$x''_{d\%}$	12,2 ÷ 13,4	12,8	11,2 ÷ 12,3	11,75

W tabeli 4 [3] przedstawiono reaktancje generatorów synchronicznych produkowanych przez firmę STAMFORD o bardzo zróżnicowanych mocach od 16,8 kVA serii BC do 2785 kVA

serii P, napięciach znamionowych od 380V do 400V i częstotliwościach 50Hz lub 60Hz. Jako pierwsze podano wartości dla mniejszych mocy a ostatnie dla największych.

Tab. 4. Wartości względne procentowe reaktancji podłużnych prądnic synchronicznych produkowanych przez firmę STAMFORD.

Reaktancja	Prądnic w wykonaniu lądowym		Prądnic w wykonaniu morskim	
	W zależności od mocy znamionowej [%]	Średnia [%]	W zależności od mocy znamionowej [%]	Średnia [%]
$x_{d\%}$	160; 209; 269; 278; 249; 293	243	149; 182; 228; 246; 182; 234	204
$x'_{d\%}$	16,1; 17,0; 16; 14; 19; 18	16,7	15,0; 14,8; 13,6; 12,1; 13,9; 14,3	13,9
$x''_{d\%}$	10,6; 11,4; 12; 10; 13; 13	11,67	9,7; 9,8; 9,8; 8,6; 9,6; 10,5	9,67

W tabeli 5 [3] przedstawiono reaktancje generatorów synchronicznych produkowanych przez firmę DFME dawniej DOLMEL Wrocław. Moc znamionowa generatorów w wykonaniu morskim zmienia się od 630kVA do 1500kVA, napięcie 450V, prędkość obrotowa 1000 ÷ 720 obr/min, podano od mniejszych do większych mocy. Generatory w wykonaniu lądowym są produkowane na znacznie większe moce znamionowe od 150MVA do 588MVA, napięcie 13,8 ÷ 22 kV, prędkość obrotowa 3000 obr/min, podano od mniejszych do większych mocy.

Tab. 5. Wartości względne procentowe reaktancji podłużnych prądnic synchronicznych produkowanych przez firmę DFME.

Reaktancja	Prądnic w wykonaniu lądowym		Prądnic w wykonaniu morskim	
	W zależności od mocy znamionowej [%]	Średnia [%]	W zależności od mocy znamionowej [%]	Średnia [%]
$x_{d\%}$	184; 188; 266; 272; 204; 260; 256	233	163; 170; 154; 118; 128; 119	142
$x'_{d\%}$	Brak danych	-	25; 26; 28,5; 26,9; 26; 27,1	26,6
$x''_{d\%}$	22; 19; 21,9; 23; 20,5; 23,5; 24,2	22,0	13,1; 14; 15,3; 19,9; 13; 13,3	14,8

We wszystkich przedstawionych przypadkach reaktancje podłużne prądnic w wykonaniu morskim są niższe niż w wykonaniu lądowym. Największe różnice występują w przypadku reaktancji synchronicznej X_d i sięgają 39%, mniej różnią się reaktancje podprzejściowe, do 32,7% a najmniej przejściowe, do 16,8%. Największe różnice występują dla firmy DFME gdzie po-

równano typowe prądnice morskie z typowymi prądnicami stosowanymi w lądowej energetyce zawodowej.

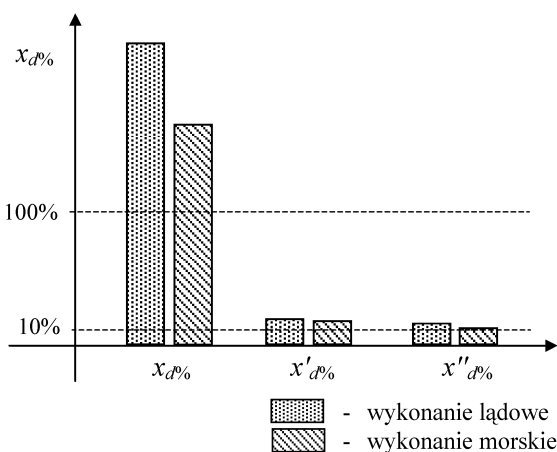
Tab. 6. Wartości względne procentowe reaktancji podłużnych prądnic synchronicznych w wykonaniu morskim i lądowym.

Firma produkcyjna	$x_{d\%}$		
	Lądowe	Morskie	Różnica*
CUMMINS	204	152	25,5
STAMFORD	243	204	16,0
DFME	233	142	39,0
Średnio	227	166	26,8
$x'_{d\%}$			
CUMMINS	21,3	20,2	5,2
STAMFORD	16,7	13,9	16,8
DFME	-	-	-
Średnio	19	17,5	11,0
$x''_{d\%}$			
CUMMINS	12,8	11,75	8,2
STAMFORD	11,67	9,67	17,1
DFME	22	14,8	32,7
Średnio	15,5	12,1	19,3

* - obliczono w procentach w stosunku do wartości charakterystycznej dla generatorów lądowych, średnią obliczono jako średnią arytmetyczną dla różnych firm.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania reaktancji podłużnych prądnic synchronicznych produkowanych do zastosowania na statkach morskich w porównaniu do tych przeznaczonych dla elektroenerge-



Rys. 2. Porównanie reaktancji podłużnych prądnic synchronicznych w wykonaniu morskim i lądowym

tyki lądowej wskazują, że są one średnio znacząco niższe, co jest zgodne z pierwotnymi przewidywaniami (rys.2). W większości przypadków maszyny te różnią się także w istotny sposób mocą i napięciem znamionowym, znamionową prędkością obrotową i związaną z tym

budową wirnika, a nawet częstotliwością. Utrudnia to postawienie ostatecznego wniosku, że w każdym przypadku reaktancje zależą tylko od przeznaczenia środowiskowego maszyny a nie od jej parametrów znamionowych. Firma Schneider Electric podaje w swoich wytycznych do projektowania systemów elektroenergetycznych wartości reaktancji z podziałem na turbogeneratory i generatory z biegunami jawnymi podane w tabeli 2. Wynika z nich, że reaktancje synchroniczne turbogeneratorów są znacząco wyższe, natomiast reaktancje przejściowe nieco niższe. Wymagałoby to szerszych badań, w szczególności prądnic pracujących na statkach morskich a także uwzględnienia opinii projektantów okrętowych systemów elektroenergetycznych co do ich preferencji, jeżeli chodzi o reaktancje generatora. Firma FOGO produkuje generatory serii FV o mocy znamionowej 85 ÷ 630 kVA przeznaczone do napędu silnikami spalinowymi, w których reaktancje podłużne wahają się w bardzo szerokich granicach: $x_{d\%} = (225 \div 345,6)\%$, $x'_{d\%} = (10 \div 27,2)\%$, $x''_{d\%} = (5 \div 16,9)\%$ [8]. Przeprowadzone rozeznanie na statku m/s WARTA eksploatowanym przez PŻM masowcu, gdzie zamontowano trzy generatory o mocy 500kVA każdy, potwierdza niskie wartości poszczególnych reaktancji podłużnych: $x_{d\%} = 91,4\%$, $x'_{d\%} = 17\%$, $x''_{d\%} = 12,2\%$, a w szczególności reaktancji synchronicznej. Ale generator serii TFH o mocy 400kVA produkowany przez EMP SEG do zastosowań morskich charakteryzuje się całkowicie innymi wartościami: $x_{d\%} = 172,8\%$, $x'_{d\%} = 38,4\%$, $x''_{d\%} = 17,9\%$ [9]. W lądowym systemie zasilania źródłem energii elektrycznej bezpośrednio dla odbiorników jest zwykle transformator o reaktancji wewnętrznej w granicach $x_z\% = (4 \div 6)\%$ i prądzie zwarciovym udarowym do 1,8 raza większym od ustalonego prądu zwarcia $I_{zud} = (1,2 \div 1,8) I_z$ [2], gdy w systemie statkowym źródłem jest prądnica synchroniczna o reaktancji $x_{d\%} = (70 \div 300)\%$ i prądzie zwarciovym udarowym do 15 razy wyższym od ustalonego. W obu przypadkach rezystancja uzwojeń jest do pominięcia. O wartości składowej okresowej prądu w pierwszej chwili po zwarciu w pobliżu źródła decyduje w systemach lądowych głównie reaktancja zwarciova transformatora, a w systemie morskim reaktancja podprzejściowa prądnicy.

7. Literatura

- [1]. Latek W.: Badanie maszyn elektrycznych w przemyśle, WNT Warszawa 1979, 1987.
- [2]. Plamitzer A.M.: Maszyny elektryczne, WNT Warszawa 1967, 1982.
- [3]. Bąba Ł.: Analiza porównawcza reaktancji wewnętrznych prądnic synchronicznych stosowanych w elektrowniach statkowych i lądowych, praca magisterska, AMG Gdynia 2011.
- [4]. Ronkowski M. i inni: Maszyny elektryczne wokół nas, Politechnika Gdańska 2009/10.
- [5]. http://www.schneider-electric.pl/documents/Polish_Catalogue/Technical/Poradnik_SN.pdf
- [6]. De Abreu J.P., De S.A. J.S., Prado C.C.: Harmonic voltage distortion in isolated electric systems. 7th International Conference "Electrical Power Quality and Utilisation", Kraków, wrzesień 2003, s. 469-472.
- [7]. Evans I.C.: Driving ahead-the progress of electric propulsion. The Motor Ship, September 2003, s. 28-34.
- [8]. <http://www.fogo.pl/files/1155.pdf>
- [9]. Xiaoyan Xu, Janusz Mindykowski, C.L.Philip Chen: Study of hybrid filtering solution for marine electric network, Polish Maritime Research, 2(65) 2010, Vol.17, pp. 72-78.

Autorzy

dr inż. Roman Kostyszyn, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, Polska, romos@am.gdynia.pl,

prof. dr hab. inż. Janusz Mindykowski, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, Polska, janmind@am.gdynia.pl.

Recenzent

prof. dr hab. inż. Mieczysław Ronkowski