

Morskie systemy elektroenergetyczne prądu przemiennego

Streszczenie. Artykuł jest przeglądem podstawowych zagadnień dotyczących sieci elektroenergetycznych stosowanych w obiektach morskich. Uwzględnia rolę przepisów klasyfikacyjnych w budowie tych systemów. Integralną częścią artykułu jest przedstawienie wybranych zagadnień z eksploatacji tych systemów.

Abstract. The article is a review of issues related to power grids used in offshore facilities. It takes into account the role of classification rules in the construction of these systems. An integral part of the article is the presentation of selected issues related to the operation of these systems. (**Power grids used in offshore facilities**)

Słowa kluczowe: sieci elektroenergetyczne, przepisy klasyfikacyjne, eksploatacja, konsekwencje.

Keywords: power networks, classification rules, exploitation, consequences.

Wstęp

Morskie systemy elektroenergetyczne w zdecydowanej większości są reprezentowane przez układy użytkowane na statkach, platformach wiertniczych, ośrodkach szkoleniowych. Podlegają one certyfikacji Międzynarodowych Towarzystw Klasyfikacyjnych.

Standardowe rozwiązania dotyczące morskich systemów elektroenergetycznych opierają się w na dwóch podtypach sieci: IT bądź w niewielkim procencie TT. Inne stosowane w elektroenergetyce lądowej typy (TNS, TNC) są dopuszczalne przez Towarzystwa Klasyfikacyjne, jednakże bardzo rzadko stosowane. Postęp techniczny i rozwój systemów morskich stawia coraz to większe wymagania przed układami elektroenergetycznymi. Dotyczą one między innymi spełnienia warunków wynikających ze wzrostu mocy zainstalowanej, przepięć, dostępności aparatury, materiałów, efektywności ekonomicznej, współdziałania z systemami lądowymi, wpływu na środowisko, oszczędności itp. Przykładem rozwoju bazy dydaktycznej i badawczej dotyczącej elektroenergetyki okrętowej jest rzeczywisty symulator okrętowego systemu elektroenergetycznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni (pod nadzorem PRS), którego Rozdzielnice Główne przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Model okrętowego systemu elektroenergetycznego typu IT [1]

Implementacja przepisów Polskiego Rejestru Statków do standardów zawartych w normie lądowej

Międzynarodowy kod definiujący elektroenergetyczne sieci rozdzielcze zawarty w Polskiej Normie wyróżnia pięć rodzajów układów: TNC, TNS, TNCS, TT, IT [2]. Pierwsza litera określa sposób połączenia układu sieciowego tzw.

uziemiением roboczym: T- bezpośrednio, I- brak połączenia z ziemią lub połączenie impedancyjne. Druga litera określa połączenie części przewodzących dostępnych z przewodami uziemionymi: N – bezpośrednio z uziemionym punktem neutralnym, T – bezpośrednio z ziemią (kadłubem). Następne litery określają związek pomiędzy przewodem neutralnym a przewodem ochronnym: C- występuje jeden wspólny przewód ochronno neutralny PEN, S – występują dwa osobne przewody, N -neutralny, PE – ochronny, CS – występuje hybryda PEN – N, PE. [3]

PRS (Polski Rejestr Statków S.A.), jest instytucją formującą w interesie publicznym wymagania, wydającą odpowiednie dokumenty i przepisy, dzięki którym sprawuje nadzór nad technicznymi obiektami morskimi [4].

Przepisy PRS zawarte są w różnych dokumentach, te dotyczące budowy i wyposażenia statków w „Przepisach klasyfikacji i budowy statków morskich”, platform w przepisach „Przepisach klasyfikacji i budowy jednostek górnictwa morskiego”. Przepisy te podlegają ciągłemu procesowi uaktualniania i są ogólnie dostępne.

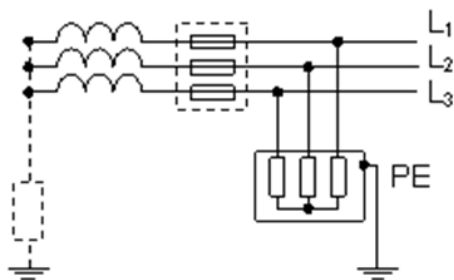
Polski Rejestr Statków dopuszcza możliwość zastosowania różnych rozwiązań układów sieciowych w obiektach morskich, statkach, (część VIII rozdział 4 – dla napięć do 1000V, rozdział 18 – dla napięć do 15000V lub wyższych jednakże zastosowanie takich napięć podlega indywidualnej ocenie).

Przepisy PRS konsekwentnie operują opisową formą możliwości zastosowania określonego rozwiązania systemu sieciowego rozdziału energii elektrycznej np. w części VIII: "W instalacjach na statku można stosować następujące układy rozdziału energii elektrycznej: dla napięć do 1000 V prądu przemiennego: trójfazowy, trójprzewodowy izolowany; trójfazowy, trójprzewodowy z uziemionym punktem zerowym" [5]. Kodując wyżej przedstawione opisy systemów elektroenergetycznych można stwierdzić iż, w rozdziale czwartym przepisów części VIII dotyczącym układów o napięciu do 1000V dopuszczalne są systemy IT, TT, TNC, natomiast w rozdziale osiemnastym dotyczącym układów o napięciu powyżej 1000V dopuszczalne są układy IT oraz TT z ograniczonym prądem zwarciovym przez zastosowanie rezystancyjnego wtrącenia w obwód uziemienia punktu neutralnego (w przepisach PRS konsekwentnie nazywanego zerowym). Stosowanie innych układów podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS. Autor artykułu w serii konsultacjach z inspektorami PRS rozwiązywał napotkane problemy przy eksploatacji hybryd zasilania TT/TNC/TNS występujących przy zasilaniu z lądu określonych statków [6].

Podstawowe właściwości morskich sieci rozdzielczych

Morski system elektroenergetyczny musi spełniać stawiane wymagania projektowe. W przypadku statków najczęściej związane są one z nadrzędnymi parametrami bezpieczeństwa takimi jak: ciągłości i spełniania parametrów jakościowych zasilania, dobrych właściwości przeciwpożarowych, przeciwporażeniowych, skutecznego działania aparatury oraz dobrej odporności na negatywne zjawiska elektromagnetyczne.

Ze względu na przedstawione wymagania najczęściej preferowanym systemem jest sieć elektroenergetyczna typu IT. Podstawową strukturę tego systemu prezentuje rys. 2.



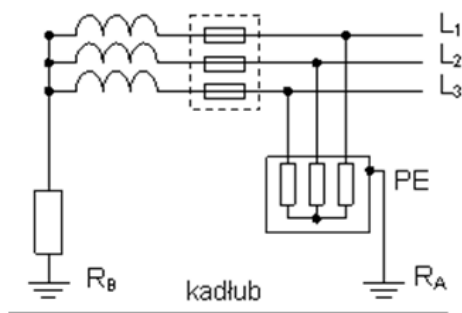
Rys. 2. Struktura podstawowego układu sieciowego typu IT

Czasami w sytuacjach związanych z innymi wymaganiami (np. transportu ludzi, przeciwdziałania pojawiającym się przepięciom, konieczności użycia wysokiego napięcia) stosowana jest sieć TT [7]. Inne zaś układy stosowane są niezmiernie rzadko.

Poprzez brak połączenia uzziemienia funkcjonalnego z kadłubem, układ sieciowy typu IT charakteryzują się najmniejszą wartością prądu zwarcia doziemnego I_d (mA) niezależnego od miejsca zwarcia. Prąd ten zamyka się przez upływności, przez pojemności nieuszkodzonych faz względem ziemi lub przewód PE, gdy zostanie użyty w zamkniętym obszarze galwanicznie połączonych odbiorników [8].

Tym samym pomimo uszkodzenia, zabezpieczenia nadprądowe nie reagują, a odbiorniki pozostają w ruchu. Konsekwencją tej właściwości jest konieczność prowadzenia ciągłej kontroli sprawności systemu poprzez monitorowanie wartości rezystancji izolacji w chronionym obszarze. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu aparatury wyposażonej w odpowiedni układ pomiarowy włączony pomiędzy przewodami fazowymi a kadłubem statku (przekaznik upływnościowy). Proces nadzoru generuje większe koszty eksploatacyjno – diagnostyczne, które w systemach okrętowych wpisane są w obowiązki personelu technicznego.

Innym rzadziej stosowanym układem zasilania w systemach morskich jest układ TT, którego strukturę prezentuje rysunek 3.



Rys. 3. Struktura podstawowego układu sieciowego typu TT

W klasycznym lądowym ujęciu budowy tego systemu, układ ten tworzy bezpośrednio uziemiony punkt neutralny źródła zasilania przez rezystancję R_B (do kadłuba statku, platformy wiertniczej). W pętli zwarciowej znajduje się rezystancja uziemień przewodu ochronnego R_A i kadłuba czyli uzziemienia funkcjonalnego R_B [9]. Specyfika budowy metalowego kadłuba statku lub platformy wiertniczej pozwala stwierdzić iż, rezystancja R_B jest mniejsza niż rezystancja R_A wyniku czego impedancja pętli zwarciowej zależy głównie od wartości rezystancji R_A . Ta zaś, ze względu na niejednorodność materiałową jest trudna do wyznaczenia i zmienia się w czasie eksploatacji, na skutek oddziaływania wielu zmiennych zależnych od konstrukcji obiektu i wpływu zmiennych zewnętrznych warunków środowiskowych. Cechy te sprawiają kłopoty z pomiarem wartości impedancji pętli zwarciowej i oznaczeniem trendu jej zmian. Tym samym występuje problem prawidłowego doboru aparatury zabezpieczającej.

Łądowe systemy TT charakteryzują się rezystancją pętli zwarciowej wynoszącą kilka omów. Konsekwencją tego zjawiska jest niewielki prąd zwarciowy najczęściej nie przekraczający 200A. Tym samym trudno jest zrealizować klasyczny układ zabezpieczeń oparty na wyłącznikach zwarciowych, czy bezpiecznikach. Preferuje się w takim przypadku zastosowanie wyłączników różnicowo prądowych. Jednakże w systemach morskich (okrętowych) nie są one często stosowane gdyż cechuje je duży współczynnik zawodności.

Przepisy lądowe wymagają aby zabezpieczenia stosowane w systemach TT miały krótsze czasy zadziałania niż te stosowane w układach TN [3]. Wynika to z nierówności rezystancji R_B i R_A , która to może spowodować w niesprzyjających warunkach pojawienie się niebezpiecznego napięcia dotykowego. W systemach morskich problem jest mniejszy, gdyż metalowy kadłub posiada znacznie mniejszą choć zmieniającą się wartość rezystancji. Tym samym układ TT posiada pewne właściwości układu TN. Ponadto metalowy kadłub można uznać jako główne połączenia wyrównawcze w zasięgu instalacji. Właściwość ta skłania do stosowania układu TT w systemach morskich obok korzyści materialnych (niższe koszty inwestycyjne).

Inne konfiguracje typów instalacji elektroenergetycznych w systemach morskich są bardzo rzadko tworzone, gdyż generują odmienne problemy niż w systemach lądowych oraz wymagają innego podejścia do ich eksploatacji przez personel techniczny [10]. Rozwój wielowariantowych układów analizy niezawodności działania systemów elektroenergetycznych i implementacja ich do systemów morskich stworzy bazę do zmiany wyżej przedstawionego stanu [11].

Krótko porównując te dwa systemy elektroenergetyczne można wysnuć wniosek, koszt budowy sieci oraz intensywność zjawisk elektromagnetycznych rośnie w kierunku sieci skutecznie uziemionych a wartości przepięć ziemnozwarciowych w kierunku sieci izolowanych [8].

Wybrane zagadnienia dotyczące eksploatacji morskich systemów elektroenergetycznych

W systemie elektroenergetycznym izolowanym w odróżnieniu od systemów uziemionych (gdzie nadrzędną zasadą bezpieczeństwa jest zasada: wyłącz w przypadku awarii) obowiązuje zasada – zasygnalizuj awarię. Pierwsze uszkodzenie należy więc, szybko wykrywać, lokalizować i usuwać aby nie dopuścić do tzw. drugiego uszkodzenia, które to automatycznie przekształca konfigurację sieci. Tym samym zwarcie jednomiejscowe przeradza się w dwumiejscowe, które jest ograniczane przez zabezpieczenia, tracąc tym samym główną zaletę układu – bezprzerwowe zasilanie [8].

Z tego względu, eksploatacja układu sieciowego IT, wymaga odpowiedniego nadzoru technicznego. Potrzeba dużego doświadczenia personelu technicznego wynika z faktu iż, urządzenie monitorujące alarmuje zaistnienie uszkodzenia a nie określa jego miejsca. Lokalizacja i szybkie usunięcie awarii jest więc kluczowym elementem zachowania sprawności i zalet układu IT.

Podstawowym układem monitorującym sprawność izolacji kontrolowanego galwanicznie izolowanego obszaru systemu elektroenergetycznego typu IT jest odpowiednio zamontowany kontroler stanu izolacji czyli przełącznik upływnościowy. Podczas montażu tego urządzenia należy spełnić szereg wymagań związanych ze skutecznością jego późniejszego działania. Dotyczą one: spełnienia warunku prawidłowego podłączenia do naturalnego lub sztucznego punktu neutralnego, zastosowania tylko jednego urządzenia w kontrolowanym obszarze i dopasowania np. do urządzeń specjalistycznych (przekształtniki energoelektroniczne). Warunek dotyczący zastosowania tylko jednego urządzenia monitorującego jest szczególnie ważny w przypadku zastosowania sekcjonowanych rozdzielnic głównych. Muszą być one wyposażone w łączniki, pozostawiające tylko jedno urządzenie w tworzonym obszarze zasilania.

Eksploatacja systemów elektroenergetycznych typu TT podlega podobnym reżimom technik eksploatacyjnych związanych z okresowym monitorowaniem stanu sprawności systemu. Sprawność ta zostaje zachowana przy zabezpieczeniu sprawności połączeń uziemienia funkcjonalnego i indywidualnych lub grupowych połączeń uziemiających poszczególne urządzenia.

Awaria polegająca na zwarciu doziemnym w systemie TT skutkuje zadziałaniem zabezpieczeń zwarciovych i w wyłączeniu obwodu z eksploatacji. W tym przypadku identyfikacja miejsca awarii nie nastręcza problemu. Jednak układ nie pracuje i tym samym może w większym stopniu generować niebezpieczeństwo katastrofy w niesprzyjających warunkach. Wydaje się iż, rozwiązaniem problemów z analizą nadchodzących problemów eksploatacyjnych może być zastosowanie inteligentnych systemów monitorujących, wykorzystujących układy pomiarowe zdalnej transmisji danych [11].

Czasami można spotkać się z rozwiązaniami nietypowymi. Wyzwaniem dla autora tego artykułu było zmierzenie się z problemami wynikającymi z zastosowania na małym statku układu sieciowego typu TNS. Układ ten został zastosowany w celu ułatwienia zasilania statku z sieci lądowej. To rozwiązanie było korzystne z punktu widzenia kosztów eksploatacyjnych armatora.

Przy zasilaniu statku z lądu zastosowano transformator separacyjny o połączeniu uzwojeń trójkąt gwiazda. W ten sposób utworzono elektroenergetyczne połączenie lądowo - okrętowe TNC/TT/TNS z częściowym wykorzystaniem kadłuba jako przewodu PE. Charakterystyczną cechą układu było zastosowanie uziemienia roboczego zarówno w części generatorowej, jak i w części zasilania z lądu. Sieć dystrybucyjną wyposażono w uziemienie grupowe. Jednakże w wyniku niezrównoważenia obciążeń, podczas postoju i zasilania z lądu, pomierzony niesymetryczny prąd płynący pomiędzy kadłubem statku a uziemieniem nabrzeża portowego osiągał nieomal systemowe wartości znamionowe. Krótka eksploatacja tego systemu spowodowała ogromne szkody wynikające ze wzmożonej korozji elektrochemicznej. Skutkiem tego był konieczny remont jednostki i przebudowa systemu na klasyczny elektroenergetyczny układ sieciowy typu IT [6].

Podsumowanie

W artykule przedstawiono krótki przegląd podstawowych typów systemów elektroenergetycznych stosowanych w elektroenergetyce morskiej. Na podstawie cech charakterystycznych tych układów można powiedzieć iż, borykają się z różnymi problemami eksploatacyjnymi, które musi rozwiązywać odpowiednio przeszkolony personel techniczny.

Elektroenergetyczny system morski (okrętowy) narażony jest nie tylko na działania zjawisk elektrycznych, ale również zjawisk związanych z oddziaływaniem środowiska morskiego. Stąd dominują układy elektroenergetyczne dobrze znane i sprawdzone. W większości przypadków są to układy typu IT. Zastosowanie innych rozwiązań sieciowych może generować specyficzne problemy eksploatacyjne.

Autor: dr inż. Tomasz Nowak, Uniwersytet Morski, Katedra Elektroenergetyki Okrętowej, ul. Morska 81-87 Gdynia, 81-225 Gdynia, E-mail: t.nowak@we.umg.edu.pl.

LITERATURA

- [1] <https://we.umg.edu.pl/symulator-elektrowni-okretowej> dostęp 02.12.2022 r.
- [2] PN- HD 60364-1:2010 "Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część:1 Wymagania podstawowe, ustalanie ogólnych charakterystyk, definicje"
- [3] Musiał E. „Ochrona od porażień w instalacjach niskiego napięcia w świetle aktualnych przepisów i norm. Współdziałanie dwóch różnych układów, w tym TT i TN” *Materiały internetowe. Szkolenie dla członków Pomorsko-Kujawskiej Izby Inżynierów Budownictwa Bydgoszcz – Toruń – Włocławek*, 26 - 27 listopada 2012. http://www.edwardmusial.info/wyk_publ.html#2012 dostęp 02.12.2022 r.
- [4] *Polski Rejestr Statków* <https://prs.ms.gov.pl/> dostęp 02.12.2022 r.
- [5] *Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich. Instalacje elektryczne i systemy sterowania. Część VIII PRS Gdańsk 2022.* https://www.prs.pl/uploads/mor_c1.pdf dostęp 01.12.2022 r.
- [6] Nowak T., *Wybrane zagadnienia z eksploatacji nietypowej sieci elektroenergetycznej TT/TNS w systemach okrętowych - case study ZN AM Gdynia 2020.*
- [7] Węgrzyn B. Kowalski M., *Projektowanie okrętowych systemów elektroenergetycznych wysokiego napięcia, Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 86, No 06, 2010, p 252-256*
- [8] Nowak T., *Wybrane zagadnienia dotyczące sieci IT, TT w świetle użytkowania w okrętowych systemach elektroenergetycznych ZN AM Gdynia 2018.*
- [9] Szczęsny A., Korzeniewska E., *Dobór metody pomiaru rezystancji uziemienia, Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 94, No 12, 2018, p 178-181*
- [10] Marzecki J., *Badanie rozwoju sieci terenowej średniego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny, 2012, vol. 88, nr 12b, s.329-332*
- [11] Grishkevich A., *Modele symulacyjne wykorzystujące empiryczne rozkłady statystyczne do szacowania wskaźników niezawodności strukturalnej systemów elektroenergetycznych, Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 93, No 12, 2017, p 103-106*
- [12] PN-HD 60364-4-41:2009 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym.*
- [13] PN-HD 60364-4-43:2012 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-43: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed prądem przetężeniowym.*
- [14] PN-HD 60364-4-444:2012 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-444: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed zakłóceniami napięciowymi i zaburzeniami elektromagnetycznymi.*