

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Komputerowa analiza wybranych modeli impedancji ciała w ocenie możliwości porażenia prądem elektrycznym w okrętowej sieci zasilania

Arkadiusz Frącz

Katedra Elektrotechniki Okrętowej, Akademia Marynarki Wojennej
email: a.fracz@amw.gdynia.pl

STRESZCZENIE: Stosowana w układach elektroenergetycznych ochrona przeciwporażeniowa opiera się na założeniu, że dobór parametrów sieci, aparatów elektrycznych oraz projektowanie środowiska pracy zgodnie z obowiązującymi przepisami powinny minimalizować możliwość porażenia. Statystyki wypadków pokazują jednak, że do porażen prądem elektrycznym dochodzi i nie należy się spodziewać, że stan ten ulegnie nagłej poprawie. Badanie zagrożeń w tym obszarze może zostać wsparte analizą komputerową, w której wykorzystany zostanie odpowiedni model impedancji ciała. Szczególnym przypadkiem obiektu, w którym jednocześnie występują wszystkie elementy układu elektroenergetycznego oraz wysokie ryzyko porażenia jest jednostka pływająca. W artykule podjęto próbę analizy wybranych modeli impedancji ciała ludzkiego w ocenie możliwości porażenia prądem elektrycznym w okrętowej sieci z izolowanym punktem neutralnym źródła zasilania. Celem tej analizy jest weryfikacja i ocena podawanych w dostępnej literaturze parametrów rażenia oraz krytycznych parametrów sieci – ze szczególnym zwróceniem uwagi na pojemność sieci. Wnioski końcowe z artykułu stanowią wskazanie kierunku dalszych badań.

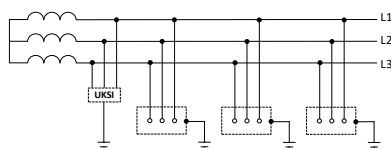
SŁOWA KLUCZOWE: elektroenergetyka okrętowa, ochrona przeciwporażeniowa, układ sieciowy IT

1. Wstęp

Analiza wydarzeń [1] powodujących urazy osób w następstwie kontaktu z prądem elektrycznym pokazuje, że wciąż znaczący udział we wszystkich tego typu wypadkach ma czynnik ludzki. Wydaje się, że przypadki porażen stają się, mimo stosowanych rodzajów ochrony przeciwporażeniowej, nieuniknione.

Szczególnym przypadkiem obiektu, w którym jednocześnie występują wszystkie elementy układu elektroenergetycznego jest m.in. jednostka pływająca. Oprócz własnej elektrowni, linii przesyłowych, rozdzielnic, w każdym z przedziałów występuje znaczne nagromadzenie maszyn, aparatów i urządzeń elektrycznych, które potencjalnie stanowią źródło niebezpieczeństwa porażeniem. Ograniczona przestrzeń, ścieśnione miejsca pracy, podwyższona wilgotność, a także szczególny tryb obsługi, stanowią dodatkowy czynnik ryzyka w eksploatacji sieci okrętowych.

Okrętowe sieci elektroenergetyczne stosowane współcześnie to najczęściej sieci z izolowanym punktem neutralnym. Schemat sieci tego typu z zaznaczeniem urządzenia do kontroli stanu izolacji (UKSI) przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Okrętowa sieć elektroenergetyczna typu IT.

Wystąpienie w takiej sieci pojedynczego uszkodzenia izolacji i powstanie jednofazowego zwarcia doziemnego wiąże się z wydzieleniem przez prąd zwarciovą energii. Przy zwarciach jednofazowych prąd zwarciovą nie powoduje pobudzenia zabezpieczeń, gwarantując ciągłość zasilania. Układ do kontroli stanu izolacji powinien zasygnalizować taką sytuację, aby nie dopuścić do powstania drugiego zwarcia [2]. Warto podkreślić, że powszechnie stosowane rozwiązania układów kontroli stanu izolacji nie pozwalają na określenie wartości pojemności sieci względem kadłuba. Stąd też nie można wprost określić wartości prądów zwarć doziemnych typu pojemnościowego. Problematyka ciągłego pomiaru eksploatacyjnego pojemności doziemnej w trakcie pracy sieci była podejmowana wielokrotnie, chociażby na potrzeby budowy i wdrażania Układów Kompensacyjnych Prądów Pojemnościowych na polskich statkach [2, 3].

Istniejące regulacje prawne w zakresie projektowania i budowy okrętowych sieci elektroenergetycznych oraz wytyczne do wprowadzania obowiązkowych środków ochrony przeciwporażeniowej na statkach [4, 5] nie obejmują stosowania układów do obniżania prądów doziemnych pochodzących od pojemności sieci, argumentując to brakiem skutecznych i sprawdzonych środków w tym obszarze. Nadal więc występuje w ochronie przeciwporażeniowej ludzi konieczność poszukiwania możliwości technicznych i organizacyjnych w tym zakresie.

W artykule poddano analizie wybrane modele impedancji ciała ludzkiego w ocenie możliwości porażenia prądem elektrycznym w okrętowej sieci z izolowanym

punktem neutralnym źródła zasilania przy wystąpieniu zwarcia doziemnego jednej fazy. Celem tej analizy jest weryfikacja i ocena podawanych w dostępnej literaturze parametrów rażenia oraz krytycznych parametrów sieci – ze szczególnym zwróceniem uwagi na pojemność sieci.

2. Metodologia badań

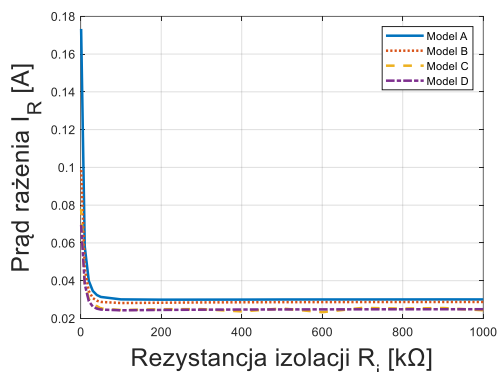
W celu budowy modelu obwodu rażenia człowieka, rozważaniu poddano uproszczoną okrętową sieć elektroenergetyczną o strukturze sieci z izolowanym punktem neutralnym źródła zasilania. Założono, że rażenie ma charakter dotykowy, a przepływ prądu następuje na drodze ręka-ręka przez impedancję ciała Z_{cz} .

Na potrzeby przeprowadzanej w artykule analizy przyjęto cztery modelowe sposoby szacowania impedancji ciała [6, 7].

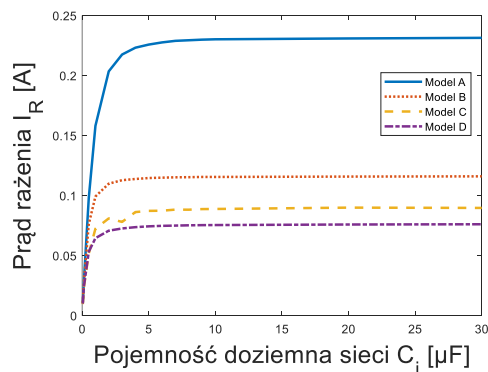
W ocenie możliwości porażenia prądem elektrycznym w przyjętej do rozważań sieci elektroenergetycznej przeprowadzono badanie modelowe wykonane w środowisku MATLAB Simulink. Zbudowano uproszczony model sieci z izolowanym punktem neutralnym z założonymi parametrami początkowymi.

3. Wyniki badań

W toku prowadzonych analiz wykonano symulacje w celu uzyskania informacji o wartościach prądów rażenia dla różnych zakresów częstotliwości i napięcia źródła zasilania, a także przy zmianie parametrów impedancji izolacji sieci względem kadłuba jednostki pływającej. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 2, 3.



Rys. 2. Wpływ obniżenia rezystancji izolacji na wartość prądu rażenia.



Rys.3. Wpływ zwiększenia pojemności doziemnej sieci na wartość prądu rażenia.

Uzyskane wyniki wskazują, że opracowany model daje spodziewaną odpowiedź. Zalecany do użytku [6] model impedancji (B) wskazuje co prawda na mniejszą niż model uproszczony (A) wartość prądu rażenia. Jednak sposób jego zbudowania, uwzględniający jednocześnie parametry skóry ludzkiej (gałąź RC), predestynuje go do użycia w dalszych badaniach ochrony przeciwporażeniowej w układach sieci okrętowych.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują, że możliwe jest symulowanie zjawisk rażenia przy użyciu modeli impedancji ciała ludzkiego przy użyciu dostępnych bibliotek środowiska MATLAB Simulink. Dotychczasowe wnioski:

- 1) wykazano, że jeden z modeli impedancji (C) odbiega swymi charakterystykami od równań opisujących zmiany prądu rażenia,
- 2) najwyższe wartości prądu rażenia uzyskuje się w badaniu modelu (B), który jednocześnie jest najprostszy w budowie i nie uwzględnia parametrów skóry ludzkiej (brak gałęzi RC w modelu),
- 3) przyjęte przepisami towarzystw klasyfikacyjnych wartości rezystancji izolacji sieci są wartościami bezpiecznymi z dużym marginesem bezpieczeństwa,
- 4) istnieje znaczny wpływ pojemności doziemnej sieci na wartości prądów rażenia powyżej pewnej wartości krytycznej.

Prowadzone będą dalsze badania uwzględniające również wpływ pozostałych parametrów sieci na wartości prądów rażenia, szczególnie przy obecności zwiększonych wartości pojemności doziemnych.

Literatura

- [1] *Informacje Statystyczne. Wypadki przy pracy w latach 2016-2022*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, Gdańsk 2016-2022.
- [2] Nowak T.: *Wybrane zagadnienia dotyczące sieci IT oraz TT w świetle użytkowania w okrętowych systemach elektroenergetycznych*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia, 2018.
- [3] Czernecki L., Hryniewicz J., Sojka J.: *Kompensacja prądów pojemnościowych w okrętowych sieciach elektrycznych z izolowanym punktem zerowym*, Zeszyty Naukowe nr 38 Wyższej Szkoły Morskiej, Szczecin 1990.
- [4] *Przepisy Klasyfikacji i Budowy Statków Morskich. Cz. VIII. Instalacje elektryczne i systemy sterowania*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2024.
- [5] Stanisławski W.: *Ochrona przeciwporażeniowa w lądowych i morskich sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia*, Zeszyty Naukowe AMW nr 157/2004, Gdynia 2004.
- [6] Gierlotka S.: *Elektropatologia porażen prądem elektrycznym oraz bezpieczeństwo przy urządzeniach elektrycznych*, Zeszyty dla elektryków nr 12, Warszawa 2015.
- [7] De Santis V, Beeckman P., Lampasi D., Feliziani *Assessment of human body impedance for safety requirements against contact currents for frequencies up to 110MHz*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 58, Piscataway, NJ 2011.