

Witold Stanisławski

OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA W LĄDOWYCH I MORSKICH SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono rodzaje i środki ochrony przeciwporażeniowej stosowane w lądowych i morskich sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia, których zastosowanie podniesie poziom bezpieczeństwa elektrycznego.

WSTĘP

Energia elektryczna charakteryzuje się wieloma bardzo korzystnymi właściwościami. Nauczyliśmy się stosować ją praktycznie we wszystkich dziedzinach techniki i w życiu codziennym. Energia elektryczna jest zdecydowanie przyjazna człowiekowi. Jeśli jednak na drodze jej przepływu znajdzie się organizm żywy, to działa na niego niszcząco, ze skutkiem śmiertelnym włącznie. Wypadki porażenia prądem elektrycznym zdarzały się już w ubiegłym stuleciu, kiedy zaczęto użytkować pierwsze urządzenia elektryczne. Mimo że porażenia elektryczne ze skutkiem śmiertelnym stanowią obecnie jedynie 1 – 1,5% wszystkich tragicznych wypadków, stanu tego nie uznaje się za zadowalający i stale prowadzi się prace nad poprawą jakości oraz skuteczności działania urządzeń i systemów ochrony przeciwporażeniowej.

Miarą oceny stanu bezpieczeństwa pod względem porażeniowym w skali kraju jest liczba wypadków śmiertelnych przypadających na milion mieszkańców w ciągu roku. W Polsce wskaźnik ten wynosi obecnie około 7,5. W innych, najbardziej uprzemysłowionych krajach Europy, tylko 1,3 – 2,0 [1]. W kraju wybucha też corocznie wiele tysięcy pożarów mieszkań i całych obiektów budowlanych, znaczna ich część, bo około 30%, jest przypisywana wadom instalacji i urządzeń elektrycznych. Jest to udział znacznie większy niż w innych krajach Europy.

Ta wielokrotnie większa liczba tragicznych wypadków porażenia prądem elektrycznym w Polsce spowodowana jest niedoskonałością technicznych rozwiązań instalacji elektrycznych. W konsekwencji należy stwierdzić, że stan bezpieczeństwa pod względem porażeniowym w Polsce, szczególnie dotyczący instalacji i urządzeń niskiego napięcia, jest niezadowolający.

RODZAJE I ŚRODKI OCHRON PRZECIWPORAŻENIOWYCH

Ochrona przeciwporażeniowa to zespół środków technicznych zapobiegających porażeniom prądem elektrycznym ludzi i zwierząt w normalnych i zakłóceńowych warunkach pracy urządzeń elektrycznych. W urządzeniach niskiego napięcia rozróżnia się ochronę przeciwporażeniową przed dotykiem bezpośrednim (ochronę podstawową), przed dotykiem pośrednim (ochronę dodatkową) oraz ochronę uzupełniającą [4]. Środki ochrony przeciwporażeniowej w sieciach lądowych i morskich określają normy i przepisy [9, 10, 11, 13].

Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa)

Ochrona przeciwporażeniowa przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa) to zespół środków technicznych chroniących człowieka lub zwierzę przed zetknięciem się z częściami czynnymi¹ oraz przed pojawieniem się napięcia na częściach przewodzących dostępnych².

Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim w lądowych i morskich sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia są takie same.

Ochrona ta jest realizowana przez:

- izolowanie części czynnych;
- stosowanie obudów i osłon;
- stosowanie osłon;

¹ Część czynna – przewód lub część przewodząca urządzenia lub instalacji elektrycznej, która w warunkach normalnej pracy instalacji elektrycznej znajduje się lub może się znaleźć pod napięciem; częścią czynną jest przewód neutralny *N*, lecz nie jest nim przewód ochronny *PE* ani ochronno-neutralny *PEN*.

² Część przewodząca dostępna – część przewodząca instalacji elektrycznej dostępna dla dotyku, która w warunkach normalnej pracy instalacji nie znajduje się pod napięciem, lecz w wyniku uszkodzenia może się znaleźć pod napięciem, np. metalowe obudowy urządzeń elektrycznych.

- stosowanie przeszkód i barier;
- umieszczenie części czynnych poza zasięgiem ręki.

Ochrona przez izolowanie części czynnych jest ochroną wykonaną zwykle w procesie produkcyjnym przez wytwórcę urządzenia. Aby mogła być uznana za ochronę podstawową, nie może dać się usunąć z części czynnej inaczej niż przez zniszczenie. Musi ona spełniać wszystkie wymagania stawiane danemu urządzeniu, kablom i przewodom izolowanym. Musi być w szczególności dostosowana do narażeń wewnętrznych, wynikających z charakteru urządzenia elektrycznego – napięcie oraz możliwych przepięć, a w szczególności dostosowana do spodziewanych narażeń zewnętrznych, środowiskowych, takich jak: podwyższona wilgotność, niska lub wysoka temperatura, narażenia mechaniczne, agresywność chemiczna otaczającego środowiska, bezpośrednio padające światło słoneczne itp. Wymagania te powodują, że w zasadzie nie zaleca się wykonywania ochrony przez izolowanie części czynnych w miejscu eksploatacji urządzenia. Dopuszcza się jej wykonanie pod warunkiem, że technologia jest sprawdzona i zapewnia tej izolacji co najmniej takie parametry jak izolacji wykonanej fabrycznie, potwierdzone odpowiednimi próbami. Należy tu podkreślić, że można wykonywać takie izolacje na przykład przy zakładaniu muf czy trójników kablowych. Nie wolno natomiast wykonywać samodzielnie napraw izolacji (przy użyciu taśmy izolacyjnej) ruchomych przewodów izolowanych, np. przewodów oponowych, przeznaczonych do pracy w trudnych warunkach środowiskowych.

Ochrona przez stosowanie obudów lub osłon polega na tym, że wszystkie części czynne urządzenia są umieszczone wewnątrz obudowy lub tak osłonięte, że niemożliwe jest ich dotknięcie. Aby ochrona ta mogła być uznana za ochronę podstawową, muszą być spełnione następujące najważniejsze warunki:

- obudowy lub osłony nie mogą dać się usunąć bez użycia narzędzia lub klucza;
- obudowy lub osłony muszą być odporne na normalnie występujące w warunkach eksploatacji narażenia zewnętrzne: mechaniczne, temperaturę, wilgotność, agresywność chemiczną otaczającego środowiska itp.;
- obudowy i osłony muszą mieć stopień ochrony³ co najmniej IP 2X, a łatwo dostępne górne powierzchnie poziome tych obudów i osłon stopień IP 4X; warunek ten nie dotyczy gniazd bezpiecznikowych i opraw żarówek.

³ Stopień ochrony obudowy IP – umowna miara ochrony, zapewnianej przez obudowę, przed dotykiem części czynnych i poruszających się mechanizmów, przedostawaniem się ciał stałych i wnikaniem wody.

Ochrona przez zastosowanie ogrodzeń polega na umieszczeniu części czynnych w sposób czyniący je niedostępnymi dla dotyku. Ogrodzenia i zamknięcia nie mogą dać się usunąć bez użycia narzędzia lub klucza i powinny być dostosowane do normalnie występujących narażeń zewnętrznych. Podobnie jak obudowy, ogrodzenia powinny mieć stopień ochrony co najmniej IP 2X.

Ochrona przez zastosowanie przeszkód i barier jest ochroną przed niezamierzonym dotknięciem części czynnych. Może być stosowana tylko w przestrzeniach dostępnych wyłącznie dla osób mających odpowiednie kwalifikacje (np. przestrzenie lub pomieszczenie ruchu elektrycznego). Zadaniem tej ochrony jest zapewnienie, aby wykonujący prace pracownik nie zbliżył się nadmiernie do znajdujących się pod napięciem części czynnych. W urządzeniach niskiego napięcia wymaga się, aby odstęp między barierą lub przeszkodą a częścią czynną był co najmniej równy zasięgowi ręki.

Ochrona przez umieszczenie poza zasięgiem ręki polega na umieszczeniu części czynnych w sposób czyniący je niedostępnymi z danego stanowiska. Może być stosowana głównie w pomieszczeniach ruchu elektrycznego. Zasięg ręki jest określony przez normę [9] jako odległość:

- 2,50 m w górę od poziomu stanowiska;
- 1,25 m w bok od krawędzi stanowiska;
- 1,25 m w dół poniżej poziomu stanowiska;
- 0,75 m w poziomie pod stanowiskiem.

U w a g a: Oprócz wymienionych powyżej sposobów ochrony przed dotykiem bezpośrednim środkiem uzupełniającym⁴ ochronę jest wysokoczuły (o prądzie wyzwalającym $I_{\Delta N} \leq 30$ mA) wyłącznik różnicowoprądowy. Nie może on jednak zastępować ochrony przed dotykiem bezpośrednim, a jedynie powinien ją uzupełniać. Stosowany w instalacji obok niej nie chroni użytkownika przed możliwością dotknięcia części czynnej na skutek nieostrożności, samodzielnego naprawiania urządzeń pod napięciem, użytkowania urządzeń o niekompletnych, uszkodzonych obudowach (osłonach) lub na skutek niewłaściwego użytkowania urządzeń (np. posługiwanie się suszarką do włosów w wannie podczas kąpieli). Może natomiast skutecznie chronić przed śmiertelnymi skutkami takiego dotknięcia. Z tych właśnie względów wysokoczuły wyłącznik różnicowoprądowy powinien być stosowany

⁴ Ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca – zespół środków technicznych chroniących przed porażeniem, gdy ochrona podstawowa zostaje uszkodzona lub ominięta, a ochrona przed dotykiem pośrednim nie zapobiega rażeniu.

w instalacjach mieszkaniowych w szczególności dla zabezpieczania obwodów z gniaздkami wtyczkowymi. Prowadzone w Polsce badania [1] wykazały bowiem że ponad 40% badanych śmiertelnych wypadków porażeń (z ogólnej liczby ponad 100) nastąpiło na skutek naruszenia ochrony podstawowej i bezpośredniego dotknięcia części czynnych.

Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona dodatkowa)

Ochrona przeciwporażeniowa przed dotykiem pośrednim (ochrona dodatkowa) to zespół środków technicznych chroniących człowieka lub zwierzę przed – wynikłymi z uszkodzenia ochrony przeciwporażeniowej podstawowej – skutkami zetknięcia się z częściami przewodzącymi i/lub częściami obcymi.

Ochrona ta jest realizowana przez:

- urządzenia drugiej klasy ochronności;
- separację odbiorników;
- stosowanie nieziemionych połączeń wyrównawczych;
- izolowanie stanowiska;
- samoczynne wyłączenie zasilania lub sygnalizację.

Środki ochrony przed dotykiem pośrednim: urządzenia drugiej klasy ochronności, separacja odbiorników, stosowanie nieziemionych połączeń wyrównawczych oraz izolowanie stanowiska w lądowych i morskich sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia są takie same. Różnice występują przy stosowaniu ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania.

Ochrona przez zastosowanie urządzenia II klasy ochronności⁵ lub o izolacji równoważnej ma nie dopuścić do pojawienia się niebezpiecznego napięcia dotykowego na częściach przewodzących dostępnych. Jest ona realizowana przez stosowanie izolacji ochronnej, którą może stanowić:

- izolacja podwójna;
- izolacja wzmocniona;
- obudowa izolacyjna.

⁵ Klasa ochronności II – wymagania ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach tej klasy ochronności są zapewnione przez zastosowanie podwójnej lub wzmocnionej izolacji części czynnych, której zniszczenie jest bardzo mało prawdopodobne.

Urządzenia fabryczne zbudowane w II klasie ochronności muszą być w widocznym miejscu oznaczone symbolem □. Obecnie urządzenia II klasy ochronności (szczególnie powszechnego użytku) budowane są jako urządzenia z obudową izolacyjną, zapewniającą stopień ochrony co najmniej IP 2X, która powinna być odporna na spodziewane w eksploatacji narażenia mechaniczne, termiczne i elektryczne. Nowym wymaganiem normy [9] jest obowiązek umieszczania w widocznym miejscu na zewnątrz i wewnątrz obudowy (po jej otwarciu) symbolu ⊗, zakazującego przyłączanie przewodu ochronnego do części przewodzących zamkniętych wewnątrz obudowy izolacyjnej.

Ochrona przez zastosowanie separacji elektrycznej polega na zasilaniu obwodu separowanego ze źródła separacyjnego, którym najczęściej jest transformator separacyjny lub przetwornica separacyjna. Może być stosowana do zasilania jednego lub kilku urządzeń separowanych. Napięcie znamionowe obwodu separowanego nie powinno przekraczać 500 V. Części czynne obwodu separowanego nie mogą być połączone w żadnym punkcie z innym obwodem lub z ziemią. Zaleca się stosowanie oddzielnego ułożenia obwodów separowanych. Przy wspólnym ułożeniu tych obwodów z innymi obwodami należy w obwodach separowanych stosować przewody wielożyłowe lub przewody izolowane jednożyłowe ułożone w oddzielnej rurce izolacyjnej, pod warunkiem że napięcie znamionowe ich izolacji nie jest mniejsze niż najwyższe napięcie wspólnie prowadzonego obwodu i że każdy obwód jest zabezpieczony przed prądem przetężeniowym.

Ochrona przez zastosowanie nieziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych polega na połączeniu wszystkich jednocześnie dostępnych części przewodzących obcych i części przewodzących dostępnych na stanowiskach izolowanych nieziemionym połączeniem wyrównawczym⁶. System nieziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych nie powinien mieć połączenia z ziemią przez łączone części przewodzące dostępne lub obce.

Ochrona przez zastosowanie izolowania stanowiska⁷ ma na celu zapobieżenie możliwości porażenia prądem elektrycznym w wyniku równoczesnego dotknięcia części przewodzących o różnych potencjałach. Części przewodzące dostępne

⁶ Połączenie wyrównawcze – elektryczne połączenie części przewodzących dostępnych i części przewodzących obcych wykonane w celu uzyskania wyrównania potencjałów.

⁷ Izolowanie stanowiska – środek ochrony przeciwporażeniowej przed dotknięciem pośrednim (ochrony dodatkowej) polegający na pokryciu stanowiska materiałem izolacyjnym oraz na izolowaniu od ziemi znajdujących się w zasięgu ręki przewodzących części urządzeń i części obcych połączonych ze sobą nieziemionymi przewodami wyrównawczymi.

powinny być tak rozmieszczone, aby w normalnych warunkach eksploatacji niemożliwe było równoczesne dotknięcie:

- jednej części przewodzącej dostępnej i dowolnej części przewodzącej obcej⁸, w tym przewodzącego stanowiska;
- dwóch części przewodzących dostępnych.

Wymaganie to uważa się za spełnione, jeżeli stanowisko ma podłogę i ściany izolowane oraz zastosowane jest jedno lub więcej następujących rozwiązań:

- oddalenie od siebie części przewodzących obcych i części przewodzących dostępnych jest w odległości nie mniejszej niż 2 m;
- umieszczenie skutecznych barier (przeszkód) między częściami przewodzącymi dostępnymi a częściami przewodzącymi obcymi powoduje zwiększenie odległości do co najmniej 2 m;
- zastosowano środki izolujące części przewodzące obce, przy czym izolacja powinna mieć dostateczną wytrzymałość mechaniczną i wytrzymać próbę napięciem o wartości co najmniej 2000 V, a prąd upływu w normalnych warunkach nie powinien przekraczać 1 mA.

Rezystancja podłóg i ścian w każdym punkcie pomiarowym nie powinna być mniejsza niż:

- 50 k Ω , jeżeli napięcie znamionowe izolacji nie przekracza 500 V;
- 100 k Ω , jeżeli napięcie izolacji przekracza 500 V.

Ochronę przez izolowanie stanowiska można stosować wyłącznie w pomieszczeniach nienarażonych na działanie wilgoci.

Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania

Najbardziej rozpowszechnionym środkiem ochrony przed dotykiem pośrednim, zalecanym do stosowania praktycznie we wszystkich instalacjach elektrycznych o napięciu do 1kV, jest ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania. Urządzenia ochronne powinny w bardzo krótkim czasie samoczynnie wyłączyć zasilanie obwodu lub urządzenia chronionego przed dotykiem pośrednim. Chodzi o to, aby w następstwie zwarcia między częścią czynną znajdującą się pod napięciem

⁸ Część przewodząca obca – część przewodząca niebędąca częścią urządzenia ani instalacji elektrycznej, która może się znaleźć pod określonym potencjałem (zazwyczaj pod potencjałem ziemi): metalowe konstrukcje, rurociągi, przewodzące podłogi i ściany.

a dowolną częścią przewodzącą dostępną – przy dotyku części przewodzących przez człowieka – spodziewane napięcie dotykowe nie spowodowało przepływu prądu rażeniowego wywołującego niebezpieczne skutki patofizjologiczne. Ochrona ta może być stosowana we wszystkich układach sieciowych: TN⁹, TT¹⁰, IT¹¹. Budowa ochrony zależy od typu układu sieci. Elektroenergetyczne sieci zasilające i instalacje niskiego napięcia mogą być wykonane jako uziemione lub izolowane względem ziemi. Różna też może być liczba przewodów. Sieci uziemione prądu przemiennego mają najczęściej uziemiony punkt neutralny uzwojeń niskiego napięcia trójfazowych transformatorów obniżających, rzadko jeden z przewodów fazowych.

W Polsce w układach lądowych najbardziej rozpowszechniony jest układ TN, przy czym w sieciach rozdzielczych i instalacjach aż do 1995 roku prawie wyłącznie stosowany był układ TN-C, ze wspólnym przewodem ochronno-neutralnym (PEN), a jedynie w instalacjach nowych wykonanych po tym roku – układ TN-C-S lub TN-S. Obecnie wymaga się, aby instalacje były wykonane tylko w układzie TN-C-S lub TN-S. Układ sieciowy TT występuje również tylko w sieciach lądowych, ale zakres jego stosowania jest obecnie niewielki.

W sieciach okrętowych stosuje się niemal wyłącznie układ sieciowy IT. Przepisy PRS [13] dopuszczają wprawdzie stosowanie innych układów sieciowych, ale w praktyce nie są one stosowane. W sieciach izolowanych jednofazowe doziemienie powoduje przepływ prądu o niewielkiej wartości, rzędu co najwyżej dziesiątków miliamperów, który jest przyczyną podwyższenia się napięcia o kilka woltów na częściach przewodzących chronionych urządzeń [3]. Nie zachodzi więc konieczność bezzwłocznego wyłączenia napięcia, chociaż uszkodzenie takie powinno być szybko wykryte i usunięte. W sieciach izolowanych powinny być stosowane urządzenia do stałej kontroli stanu izolacji (UKSI) sygnalizujące lub w warunkach

⁹ U k ł a d T N – układ sieci elektrycznej rozdzielczej lub instalacji elektrycznej, w którym punkt neutralny (zerowy) jest bezpośrednio uziemiony, a części przewodzące dostępne są z nim połączone przewodami ochronnymi PE i/lub przewodami ochronno-neutralnymi PEN (przewodami ochronno-powrotnymi PER w sieciach prądu stałego), w wyniku czego pętla zwarcia z przewodzącą obcą częścią sieci lub instalacji jest w całości metalowa. Stosownie do braku lub obecności i zasięgu przewodu ochronno-neutralnego PEN (przewodu ochronno-powrotnego PER) rozróżnia się: podukład TN-C, podukład TN-S oraz podukład TN-C-S.

¹⁰ U k ł a d T T – układ sieci elektrycznej rozdzielczej lub instalacji elektrycznej, w którym punkt neutralny (zerowy) lub przewód czynny jest bezpośrednio uziemiony, a części przewodzące są połączone z uziomami niepołączonymi z uziemieniem roboczym, w wyniku czego pętla zwarcia z częścią przewodzącą zamyka się przez ziemię.

¹¹ U k ł a d I T – układ sieci elektrycznej rozdzielczej lub instalacji elektrycznej, w którym wszystkie części czynne są izolowane od ziemi albo jedna z nich jest uziemiona przez bezpiecznik iskiernikowy i/lub przez dużą impedancję, a części przewodzące są uziemione.

szczególno zagrożenia wyłączające sieć w przypadku zmniejszenia się rezystancji izolacji poniżej określonej wartości i oczywiście w razie doziemienia [5].

Najdłuższe dopuszczalne czasy wyłączenia zależą od napięcia znamionowego względem ziemi oraz układu sieci (tab. 1. i 2.).

Tabela 1. Najdłuższe dopuszczalne czasy wyłączenia zasilania w układzie TN [9]

Napięcie znamionowe sieci U_0 [V]	Czas wyłączenia [s]	
	$U_L = 50$ V	$U_L = 25$ V
120	0,8	0,35
230	0,4	0,20
277	0,4	0,20
400	0,2	0,05
480	0,1	0,05
580	0,1	0,02

Tabela 2. Najdłuższe dopuszczalne czasy wyłączenia zasilania w układzie IT przy podwójnym zwarcie doziemnym [9]

Napięcie znamionowe sieci U_0/U_N [V]	Czas wyłączenia [s]			
	W sieci bez przewodu neutralnego		W sieci z przewodem neutralnym	
	$U_L = 50$ V	$U_L = 25$ V	$U_L = 50$ V	$U_L = 25$ V
120-230	0,8	0,4	5,0	1,0
230/400	0,4	0,2	0,8	0,5
277/480	0,2	0,2	0,4	0,5
400/690	0,2	0,06	0,4	0,2
580/1000	0,1	0,02	0,2	0,08

W sieciach lądowych TN i TT (o uziemionym punkcie neutralnym) wyłączenie zasilania w pożądanym czasie może być zrealizowane przez zastosowanie urządzeń zabezpieczających:

- przetężeniowych (nadprądowych), np. bezpieczniki, wyłączniki;
- urządzeń (wyłączników) różnicowoprądowych.

Wszystkie części przewodzące urządzeń powinny być połączone z uziemionym punktem sieci za pomocą przewodu ochronnego PE, przewodu ochronno-neutralnego PEN lub w sieciach TT uziemione.

Skuteczność działania zabezpieczeń w sieciach TN określa warunek samoczynnego wyłączenia zasilania

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0, \quad (1)$$

gdzie: I_a – prąd powodujący samoczynne wyłączenie zasilania [A];
 U_0 – napięcie znamionowe sieci względem ziemi [V];
 Z_S – impedancja pętli zwarcia [Ω].

Skuteczność działania zabezpieczeń w sieciach TT określa warunek:

$$R_A \cdot I_a \leq U_L, \quad (2)$$

gdzie: R_A – suma rezystancji uziemienia uziomu i przewodu ochronnego [Ω];
 U_L – napięcie uznane w danych warunkach za graniczne dopuszczalne¹² [V];
 I_a – prąd powodujący samoczynne wyłączenie zasilania [A].

W sieciach okrętowych IT (o izolowanym punkcie neutralnym) ochrona przed dotykiem pośrednim poprzez wyłączenie zasilania w pożądanym czasie może być zrealizowana przez zastosowanie urządzeń zabezpieczających:

- przetężeńiowych (nadprądowych), np. bezpieczniki, wyłączniki;
- stałej kontroli stanu izolacji;
- urządzenia różnicowoprądowego.

W sieciach tych muszą być spełnione następujące wymagania:

1. Żaden z przewodów fazowych nie może być bezpośrednio uziemiony.
2. Wszystkie części przewodzące dostępne powinny być uziemione.
3. Rezystancje uziemień R_A i największe wartości prądów jednofazowych doziemień powinny spełniać warunek

$$R_A \cdot I_{k1} \leq 50 V, \quad (3)$$

gdzie: R_A – rezystancja uziemienia części przewodzących dostępnych [Ω];
 I_{k1} – prąd pojedynczego zwarcia z ziemią [A]; Wartość tego prądu zależy głównie od pojemności sieci.

¹² 50 lub 25V prądu przemiennego, w zależności od warunków środowiskowych.

4. Sieci IT powinny być wyposażone w urządzenia do kontroli stanu izolacji UKSI. Urządzenia te powinny sygnalizować [2, 6, 7] lub powodować wyłączenie sieci w przypadku wystąpienia pojedynczego zwarcia z uziemionymi częściami przewodzącymi bądź zmniejszenia się rezystancji izolacji poniżej ustalonej wartości. Gdy pierwsze zwarcie jednofazowe nie powoduje wyłączenia sieci, to powinno być ono usunięte w jak najkrótszym czasie. Czas ten nie jest zdefiniowany [8], co w praktyce oznacza możliwość długotrwałej pracy z jednofazowym doziemieniem. W tych warunkach powstanie drugiego zwarcia w sieci izolowanej bez przewodu neutralnego wymusza samoczynne szybkie wyłączenie przez urządzenia ochronne spełniające zależność:

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{2 \cdot I_a}, \quad (4)$$

- gdzie: Z_s – impedancja pętli zwarciowej [Ω];
 I_a – prąd zapewniający zadziałanie urządzenia ochronnego [A];
 U_0 – napięcie znamionowe sieci względem ziemi [V].

Podobne rozwiązania stosowane są w górniczych sieciach IT. Wymaga się tam jednak wyłączenia zasilania po wystąpieniu doziemienia [5].

Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim (równoczesna ochrona podstawowa i dodatkowa)

Polega ona na zasilaniu urządzeń bardzo niskim napięciem zakresu I¹³, nazywanym również tradycyjnie w Polsce ochronnie obniżonym napięciem roboczym. Stosowana jest zarówno w sieciach lądowych, jak i morskich, ale zakres jej stosowania jest ograniczony ze względu na wartości napięć zasilających. O bezpieczeństwie użytkowania urządzeń (obwodów) zasilanych bardzo niskim napięciem decyduje spełnienie następujących wymagań:

- a) wartość napięcia zasilającego między dwoma biegunami źródła i względem ziemi musi być odpowiednia dla warunków środowiskowych i rodzaju prądu, i nie może być wyższa od napięcia U_L równego:

¹³ Rozróżnia się dwa zakresy napięciowe, przy czym napięcia I zakresu napięciowego (do 50 V prądu przemiennego oraz 120 V prądu stałego) przyjęto określać jako napięcie bardzo niskie (ELV) i oznaczać – w zależności od sposobu zasilania i tego, czy sieć jest izolowana względem ziemi, czy uziemiona – skrótami SELV, PELV oraz FELV.

- 50 V prądu przemiennego i 120 V prądu stałego – w warunkach środowiskowych BB1, BB2, BC1, BC2,
 - 25 V prądu przemiennego i 60 V prądu stałego – w warunkach środowiskowych BB3, BC3, BC4,
 - 12 V prądu przemiennego i 30 V prądu stałego – w warunkach środowiskowych BB4, BC3, BC4;
- b) źródłem bardzo niskiego napięcia powinien być:
- transformator ochronny albo urządzenie równoważne (np. przetwornica dwumaszynowa),
 - źródło elektrochemiczne (np. bateria akumulatorów) lub inne źródło niezależne od obwodu zasilającego o wyższym napięciu (np. zespół prądotwórczy napędzany silnikiem spalinowym),
 - urządzenie elektroniczne, w którym zastosowano takie środki, że w wypadku uszkodzenia wewnętrznego napięcie na zaciskach wyjściowych nie przekroczy napięcia U_L , natomiast przy dopuszczeniu napięcia wyższego, jeżeli przy dotyku bezpośrednim lub pośrednim napięcie na tych zaciskach natychmiast obniży się do wartości nie większej od U_L ;
- c) przewody obwodów o bardzo niskim napięciu są ułożone oddzielnie od przewodów obwodów o wyższym napięciu lub przy wspólnym ułożeniu zastosowano jedno z powyższych rozwiązań:
- przewody obwodów o bardzo niskim napięciu są umieszczone w osłonie izolacyjnej niezależnie od izolacji roboczej,
 - przewody obwodów o różnych napięciach są oddzielone od siebie uziemionymi metalowymi osłonami lub ekranami,
 - obwody o różnych napięciach są prowadzone w przewodzie wielożyłowym lub oddzielnych przewodach ułożonych grupowo, pod warunkiem że przewody obwodu o bardzo niskim napięciu mają izolację indywidualną lub zbiorową na najwyższe napięcie występujące w przewodzie wielożyłowym lub w grupie przewodów;
- d) gniazda wtyczkowe i wtyczki stosowane w obwodach o bardzo niskim napięciu nie mogą pasować do wtyczek i gniazd wtyczkowych stosowanych w innych obwodach;
- e) stosowane w obwodach o bardzo niskim napięciu przekaźniki, styczniki, łączniki itp. muszą zapewniać oddzielenie elektryczne obwodów o różnych napięciach nie gorsze niż w transformatorze ochronnym.

PODSUMOWANIE

1. Stan bezpieczeństwa pod względem porażeniowym w Polsce, szczególnie dotyczący instalacji i urządzeń niskiego napięcia, jest niezadowolający.
2. Ochrona przeciwporażeniowa podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim) realizowana jest w sieciach lądowych i morskich w ten sam sposób. Różnice występują tylko ze względu na przystosowanie urządzeń do warunków środowiskowych.
3. Ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa (ochrona przed dotykiem pośrednim) realizowana jest głównie poprzez samoczynne wyłączenie zasilania. Ze względu na specyfikę sieci okrętowych najistotniejszym problemem jest tam kontrola stanu izolacji i lokalizacja doziemień.
4. Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim realizowana jest w sieciach lądowych i morskich w ten sam sposób.
5. W Polsce tylko nowe obiekty, wybudowane w ostatnich kilku latach, mają instalacje elektryczne wykonane w sposób spełniający aktualne wymagania dotyczące bezpieczeństwa pod względem porażeniowym, są między innymi wyposażone w oddzielny przewód PE.
6. Możliwa jest poprawa stanu bezpieczeństwa elektrycznego w sieciach lądowych i morskich poprzez stałą modernizację sieci, instalowanie coraz lepszych aparatów elektrycznych oraz rozwój systemów kontroli stanu izolacji i lokalizacji doziemień.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Danielski L., *Śmiertelne wypadki porażen prądem elektrycznym w Polsce w latach 1990 – 1995*, XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Bezpieczeństwo elektryczne”, Wrocław 1997.
- [2] Grzeczka G., Stanisławski W., *Lokalizacja doziemień w okrętowych sieciach IT*, XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Bezpieczeństwo elektryczne”, Wrocław 1999.
- [3] Hrynkiewicz J., Żeludziejewicz R., *Ochrona przeciwporażeniowa i lokalizacja miejsc uszkodzeń w elektrycznych sieciach okrętowych*, Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, Szczecin 1995.
- [4] Markiewicz H., *Zagrożenia i ochrona od porażen w instalacjach elektrycznych*, WNT, Warszawa 2000.

- [5] Stanisławski W., *Ochrona przeciwporażeniowa w okrętowych sieciach IT – praktyka i przepisy*, VII Krajowa Konferencja Elektryki Górniczej „Zarządzanie bezpieczeństwem elektrycznym w zakładach górniczych”, Katowice 1998.
- [6] Stanisławski W., *Lokalizacja doziemień w okrętowych sieciach elektrycznych typu IT*, VII Krajowa Konferencja Naukowo-Dydaktyczna „Automatyzacja i eksploatacja systemów sterowania”, Gdynia 1999.
- [7] Stanisławski W., *Dobór, instalowanie i eksploatacja urządzeń elektrycznych w okrętowych pomieszczeniach zagrożonych pożarem i wybuchem*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Bezpieczeństwo obiektów w strefach zagrożonych pożarem i wybuchem”, Praga 2000.
- [8] Stanisławski W., *Organizacja bezpiecznej eksploatacji okrętowych urządzeń elektrycznych*, XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Bezpieczeństwo elektryczne”, Wrocław 2003.
- [9] Norma PN-IEC 60364 (IEC 60364): Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych.
- [10] Norma IEC 92-101: Electrical Installations in Ships, Part 101: Definitions and General Requirements.
- [11] NATO UNCLASSIFIED 1008, STANDARDIZATION AGREEMENT, Characteristics of Shipboard Electrical Power System in Warships of the Nord Atlantic Treaty Navies, 1994.
- [12] Przepisy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych, Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, Warszawa 1995.
- [13] Przepisy Klasyfikacji i Budowy Statków Morskich, cz. VIII, Urządzenia elektryczne i automatyzacja, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 1995.

ABSTRACT

The paper presents the types and means of electrocution protection used in land and sea low-tension systems. Their employment will enhance electric safety.

Recenzent prof. dr hab. inż. Józef Lisowski