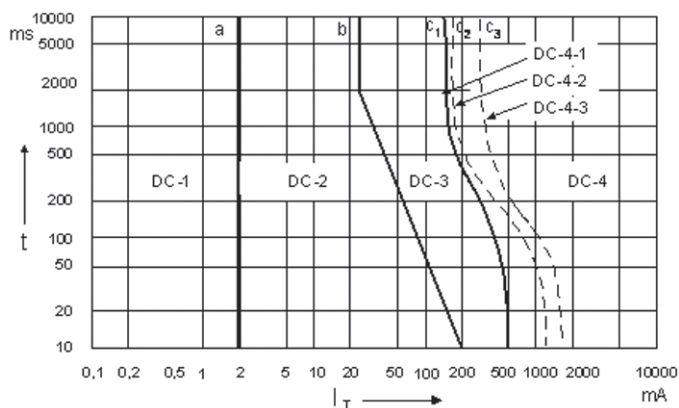


Witold Jabłoński

Podstawy ochrony przeciwporażeniowej w kolejowych sieciach trakcyjnych prądu stałego 3 kV

W artykule przedstawiono zagadnienia, leżące u podstaw kryteriów oceny zagrożenia porażeniowego przy dotyku pośrednim w kolejowych traktach elektrycznej prądu stałego 3 kV oraz omówiono i oceniono, zawarte w normie europejskiej PN-EN 50122-1 [3], wymagania stawiane ochronie przed dotykiem pośrednim w wymienionych traktach kolejowych. Przedstawiono również uwagi ogólne do postanowień dotyczących ochrony przeciwporażeniowej, zawartych w wydanych przez PKP „Wytycznych projektowania systemu ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej z uczynieniami grupowymi w układzie otwartym na liniach kolejowych” [6], a także podano wnioski ogólne wynikające z przeprowadzonych ocen oraz porównania wymagań odnoszących się do rozpatrywanej ochrony w kolejnictwie i w obiektach elektroenergetycznych wysokiego napięcia.



Rys. 1. Strefy czasowo-prądowe skutków działania prądów stałych [1]

Tabela 1

Skutki fizjologiczne rażenia prądem stałym

Strefa	Granice strefy	Skutki fizjologiczne
DC-1	do 2 mA linia a	Zwykle brak reakcji. Lekkie klucia przy załączaniu i wyłączaniu
DC-2	2 mA do linii b*	Zwykle brak uszkodzeń organicznych
DC-3	linia b do krzywej c ₁	Zwykle brak uszkodzeń organicznych; wzrost wraz z wielkością prądu i czasu możliwych, odwracalnych zakłóceń w powstaniu i przewodzeniu w sercu
DC-4	powyżej krzywej c ₁	Wzrost wraz z wielkością prądu i czasu niebezpiecznych skutków fizjologicznych (np. poważnych oparzeń); można oczekiwać wzrastających skutków podanych w strefie 3.
DC-4.1	c ₁ - c ₂	Prawdopodobieństwo migotania komór serca około 5%
DC-4.2	c ₂ - c ₃	Prawdopodobieństwo migotania komór serca do około 50%
DC-4.3	powyżej krzywej c ₃	Prawdopodobieństwo migotania komór serca ponad 50%

* Dla czasów przepływu prądu poniżej 10 ms linia graniczna prądu rażenia dla linii b utrzymuje stałą wielkość 200 mA.

Skutki działania prądu stałego na organizm ludzki

Skutki działania prądu przemiennego i stałego, które są podstawą ustalenia kryteriów zagrożenia porażeniowego, zostały ogłoszone przez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną (IEC) w raporcie technicznym typu 2 – IEC/TR2 604791-1 [1], którego trzecie wydanie zostało ogłoszone w 1994 r. Publikacja ta zawiera podstawowe informacje nie tylko dotyczące skutków działania prądu elektrycznego na ludzi i zwierzęta domowe, ale również dotyczące impedancji (rezystancji) ciała człowieka przy rażeniu prądem elektrycznym. Informacje te oparto głównie na wynikach eksperymentów przeprowadzonych w wielu krajach na zwierzętach oraz na opisach obserwacji klinicznych. Stanowiły one podstawę opracowania kryteriów oceny zagrożenia porażeniowego dla ludzi będących w normalnych warunkach fizjologicznych, w tym dzieci – niezależnie od wieku i masy ciała. Na podstawie analizy zebranych wyników badań stwierdzono, że dla określonej drogi przepływu prądu przez ciało ludzkie, skutki rażenia zależą głównie od wielkości i czasu przepływu prądu rażeniowego.

Dla prądu przemiennego oraz prądu stałego podano: próg odczuwania i reakcji, próg samouwolnienia, próg migotania komór serca oraz inne skutki działania prądu. Poszczególne zależności czasowo-prądowe występowania progów i skutków rażenia dla obu rodzajów prądu mają inne przebiegi, przy czym skutki przepływu prądów przemiennych o częstotliwości 50 Hz są groźniejsze od skutków przepływu prądu stałego o tej samej wielkości i tym samym czasie rażenia.

Na rysunku 1 przedstawiono, za publikacją IEC [1], skutki działania prądu stałego na organizm ludzki przy drodze przepływu na drodze lewa ręka–stopy.

Opis stref czasowo-prądowych dla prądu stałego przedstawiono w tabeli 1.

Próg odczuwania i próg reakcji na prąd stały (linia „a”) jest 4-krotnie wyższy od takiego progu przy prądzie przemiennym 50 Hz. Inaczej niż przy prądzie przemiennym, włączenie i wyłączenie prądu stałego jest odczuwalne. Progi te zależą od wielu parametrów, takich jak: powierzchnia dotyku, warunki dotyku (suchość, nacisk, temperatura), czasu przepływu prądu i indywidualnych charakterystyk fizjologicznych organizmu osoby rażonej.

Próg samouwolnienia (linia „b”) – przy przepływie prądu stałego jest to próg odwracalnych zakłóceń bodźców serca.

W odróżnieniu od prądu przemiennego nie jest możliwe określenie granicy samouwolnienia dla prądu stałego. Jedynie włączenie i wyłączenie prądu stałego powoduje bolesne i kurczowe reakcje mięśni (linia „b”). Przy czasach powyżej 2 s granica oznaczona na rysunku 1 linią „b” jest ponad 2-krotnie wyższa od takiej granicy przy prądzie przemiennym.

Próg migotania komór serca przy prądzie stałym płynącym w dół ciała (biegun dodatni przyłączony do ręki) jest prawie dwu-

krotnie wyższy niż dla prądów płynących w górę (biegun dodatni przy stopach).

Dla rażeń dłuższych niż cykl pracy serca próg ten jest znacznie wyższy niż przy prądzie przemiennym. Dla rażeń o czasie krótszym od 200 ms, próg migotania jest prawie taki sam, jak przy prądzie przemiennym wyrażonym w wielkości skutecznej. Migotanie serca prowadzi zwykle do ustania pracy serca i do śmierci. Próg ten uznaje się jako skutek niedopuszczalny.

Inne skutki działania prądu stałego to:

- przy przepływie prądu o wielkości ok. 100 mA i powyżej może być odczuwane w kończynach ciepłe działanie prądu;
- prądy poprzeczne o natężeniu do ok. 300 mA płynące przez kilka minut mogą powodować odwracalne, zwiększające się wraz z upływem czasu i wielkości prądu arytmie pracy serca, oparzenia i inne ślady działania prądu, tj. zawroty głowy a czasem utratę przytomności; przy prądach rażeniowych większych od 300 mA utrata przytomności występuje często;
- przy przepływie prądu o natężeniu kilku amperów, trwających dłużej niż 1 s, występują głębokie oparzenia i inne uszkodzenia ciała, a nawet może nastąpić śmierć.

W zależności od gęstości prądu rażeniowego i czasu rażenia mogą wystąpić pod elektrodą zmiany skóry:

- przy gęstości prądu poniżej 10 mA/mm² nie obserwuje się żadnych zmian skóry, ale przy dłuższym czasie rażenia skóra pod elektrodą może się stać białą-szara o powierzchni chropowatej;
- przy gęstościach prądu od 10 mA/mm² do 50 mA/mm² pojawia się opuchlizna, obrzmienie wokół elektrody;
- przy gęstości 50 mA/mm² może wystąpić zwęglenie skóry.

Przy dużych powierzchniach dotyku gęstości prądu mogą być tak małe, że nie powodują żadnych zmian skóry pomimo śmiertelnych wielkości prądu.

Główne różnice między skutkami działania prądu (pobudzenia nerwów i mięśni, wywołanie migotania przedsionków i komór serca) są połączone ze zmianami prądu (przy prądzie stałym – załączeniem i wyłączeniem obwodu rażeniowego).

Do uzyskania tego samego skutku pobudzającego, czas przepływu prądu stałego o stałym natężeniu musi być co najmniej dwukrotnie większy niż prądu przemiennego. Na przykład dla czasu rażenia większego od czasu cyklu serca i 50% prawdopodobieństwa migotania serca – współczynnik równoważności prądu stałego do prądu przemiennego k wynosi:

$$k = \frac{I_{dc \text{ migotania}}}{I_{ac \text{ migotania (wart. skut.)}}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75$$

Rezystancja ciała ludzkiego R_T przy rażeniu prądem stałym

Ocena zagrożenia na podstawie przedstawionej strefy czasowo-prądowej jest trudna do wykorzystania do oceny zagrożenia porażeniowego w praktyce. Łatwiej jest sprawdzać skuteczność ochrony przeciwporażeniowej na podstawie kryteriów opartych na dopuszczalnych napięciach dotykowych spodziewanych lub dotykowych rażeniowych, tj. iloczynu dopuszczalnego prądu rażeniowego w określonym czasie i rezystancji (impedancji) ciała ludzkiego.

Przy przepływie prądu przemiennego ciało człowieka charakteryzuje się impedancją. Jej wielkość zależy od napięcia przyłożonego do ciała, częstotliwości, stanu wilgotności skóry, drogi

przepływu prądu i powierzchni dotyku. Przy przepływie prądu stałego ciało człowieka charakteryzuje się rezystancją.

Dla prądu stałego w publikacji IEC [1] podano rezystancję całkowitą ciała ludzkiego R_T na drodze ręka–stopa przy dużej powierzchni dotyku.

Rezystancja całkowita ciała ludzkiego R_T przy prądzie stałym jest większa niż impedancja całkowita Z_T przy prądzie przemiennym przy napięciach dotykowych do 150 V w wyniku blokującego działania pojemności ludzkiej skóry.

Wielkość rezystancji R_T (przy prądzie stałym) przedstawiono w tabeli 2

Tabela 2

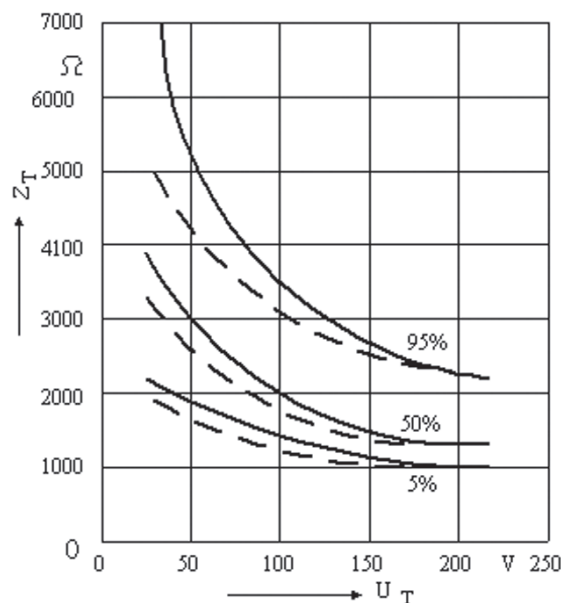
Rezystancja ciała ludzkiego R_T przy przepływie prądu stałego na drodze ręka–ręka i przy dużej powierzchni dotyku [1]

Napięcie dotykowe rażeniowe [V]	Wielkości, których nie przekracza rezystancja ciała człowieka (Ω) odpowiedniej części populacji (na drodze ręka–ręka)		
	5% populacji	50% populacji	95% populacji
25	2200	3875	8800
50	1750	2990	5300
75	1510	2470	4000
100	1340	2070	3400
125	1230	1750	3000
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
Wielkość asymptotyczna	650	750	850

Uwaga – niektóre pomiary wskazują, że impedancja ciała przy przepływie prądu na drodze ręka–stopa jest nieco mniejsza, niż dla przepływu na drodze ręka–ręka (10% do 30%).

Rezystancja R_T na drodze ręka–obie stopy wynosi 75% rezystancji na drodze ręka–ręka.

Na rysunku 2 porównano wielkości statyczne impedancji całkowitej ciała żywych ludzi Z_T dla prądu przemiennego 50 Hz i rezystancji R_T dla prądu stałego, w zależności od wielkości napięć dotykowych (nie przekraczających 220 V).



Rys. 2. Wielkości statyczne Z_T i R_T na drodze rażenia ręka–ręka lub ręka–stopa dla prądu przemiennego (linie ciągłe) i prądu stałego (linie przerywane) w zależności od wielkości napięcia przyłożonego do ciała U_T i prawdopodobieństwa wystąpienia wielkości mniejszych [1]



WAGO ELWAG sp. z o.o., ul. Piękna 58 a, 50-506 Wrocław
tel. 71/360 46 70; fax 71/360 46 99
wago.elwag@wago.com; www.wago.com

Sprężynowe złączki silnoprądowe WAGO

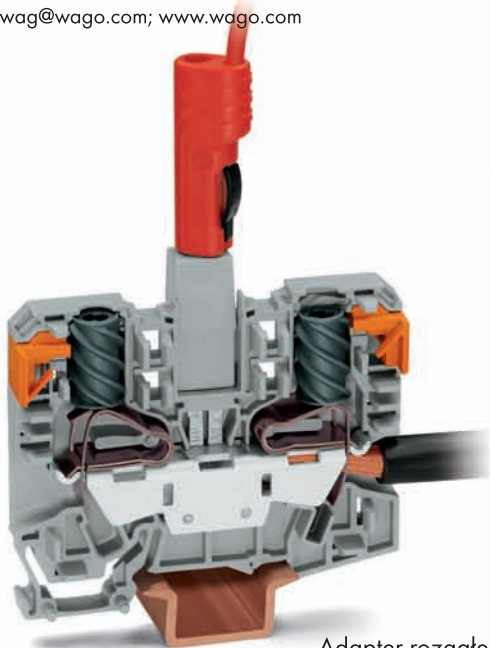
Mostkowanie



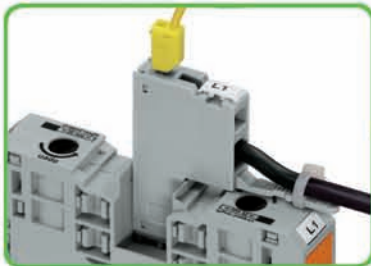
Mostkowanie sąsiadujących ze sobą złączek mostkiem poprzecznym od góry, na środku złączki.



W celu demontażu mostka należy przesunąć oznacznik.



Adapter rozgałęźny



Adapter rozgałęźny mocuje się w miejscu do montażu mostków. Można go wyposażyć w płytkę zabezpieczającą przewody przed wyrwaniem. Adapter umożliwia pomiar przy pomocy wtyku $\varnothing 2\text{ mm}/2,3\text{ mm}$ i podłączenie przewodów o przekroju $0,2\text{--}6\text{ mm}^2$.

Montaż przewodów 35 mm²



Śrubokręt o szer. klingi 5,5 mm przekręcić w kierunku odwrotnym do ruchu wskazówek zegara. Po otwarciu zacisku wcisnąć przycisk blokady.



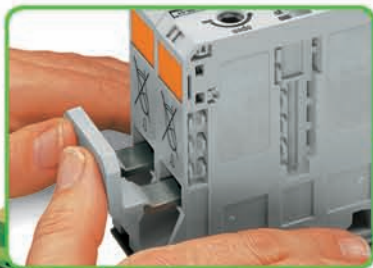
Odizolowany przewód wetknąć aż do wyczuwalnego oporu do wnętrza zacisku i przytrzymać w tej pozycji ...



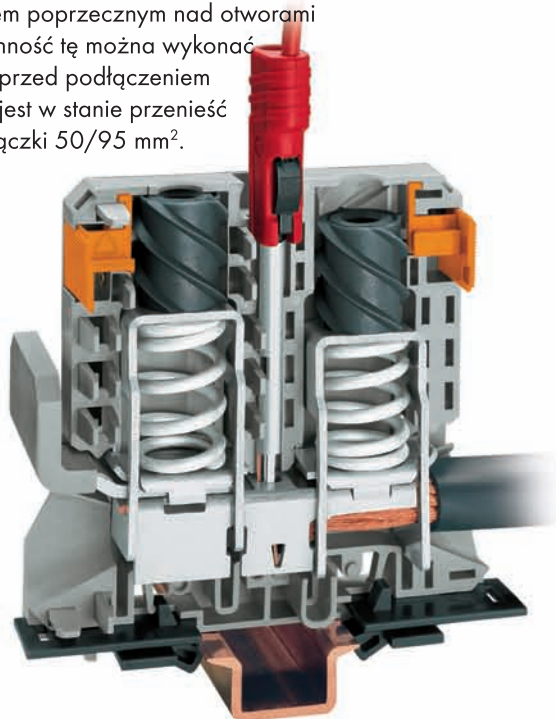
... obrotem śrubokręta w lewo zwołać blokadę ①. Samoistny obrót napędu w przeciwnym kierunku ② spowoduje zakleszczenie przewodu.

35 m
1000 V AWG 8 - 2
125 A

Mostkowanie



Mostkowanie mostkiem poprzecznym nad otworami przewodowymi. Czynność tę można wykonać bez użycia narzędzi przed podłączeniem przewodów. Mostek jest w stanie przenieść prąd znamionowy złączki 50/95 mm².



95 mm²

1000 V AWG 4 - 4/0
232 A

Adapter rozgałęźny



Montaż adaptera rozgałęźnego w miejscu mostkowania. Czynność tę należy wykonać przy zwolnionej sprężynie, przed zamontowaniem przewodów. Do adaptera można podłączać przewody o przekrojach 0,2 - 16 mm².

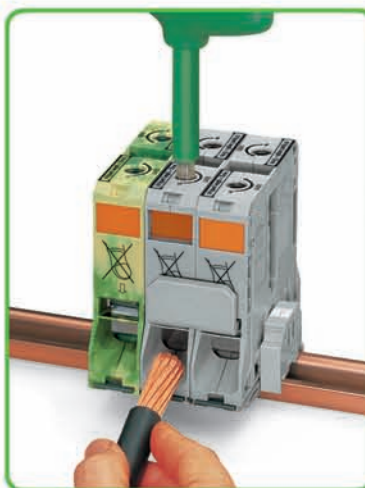
50 mm²

1000 V AWG 8 - 2/0
150 A

Montaż przewodów 50/95 mm²



Klucz imbusowy przekręci w kierunku odwrotnym do ruchu wskazówek zegara. Po otwarciu zacisku wcisnąć przycisk blokady.



Odizolowany przewód wetknąć aż do wyczuwalnego oporu do wnętrza zacisku i przytrzymać w tej pozycji ...



... obrotem klucza w lewo zwolnić blokadę ①. Samoistny obrót napędu w przeciwnym kierunku ② spowoduje zakleszczenie przewodu.

Czynniki, które powinny być uwzględniane przy ustalaniu kryteriów zagrożenia porażeniowego

Czynniki, jakie powinny być brane przy ustalaniu norm i przepisów dotyczących bezpieczeństwa elektrycznego, podane są również w raporcie IEC/TR2 60479-1 [1]. Zapisano w nim, że przy ustalaniu kryteriów bezpieczeństwa elektrycznego należy brać pod uwagę:

- skutki rażenia prądem ludzi i zwierząt domowych;
- prawdopodobieństwo uszkodzenia (izolacji), w wyniku którego może nastąpić zagrożenie porażenia (wystąpienia niedopuszczalnych skutków);
- prawdopodobieństwo dotyku części znajdujących się pod niebezpiecznym napięciem dotykowym spodziewanym;
- stosunek napięcia dotykowego spodziewanego do napięcia dotykowego rażeniowego (na podstawie tego stosunku można ocenić czy w obwodzie rażeniowym występują dodatkowe opory zmniejszające prąd rażeniowy);
- kwalifikacje elektryczne osób mających styczność z instalacjami lub liniami elektroenergetycznymi;
- możliwości techniczne wykonania ochrony przed zagrożeniami;
- możliwości ekonomiczne wykonania ochrony przed zagrożeniami.

Łatwo zauważyć, że kryteria bezpieczeństwa przy urządzeniach elektrycznych niskiego i wysokiego (w tym średniego) napięcia powinny być inne, gdyż inne mogą być prawdopodobieństwa uszkodzenia i dotyku, inne kwalifikacje elektryczne i inne stosunki napięć dotykowych spodziewanych do rażeniowych.

Podstawowe zasady ochrony przed porażeniem elektrycznym

Norma PN-EN 61140 [5] wymaga, aby w warunkach:

- normalnych (przy braku uszkodzenia) części czynne niebezpieczne były niedostępne,
- pojedynczego uszkodzenia części przewodzące dostępne nie były niebezpieczne.

Wymieniona norma wyjaśnia, że:

- zasady dostępności części czynnych niebezpiecznych w warunkach normalnych mogą się różnić dla osób postronnych i dla osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych;
- w obiektach wysokiego napięcia przekroczenie strefy niebezpiecznej jest równoznaczne z dotknięciem niebezpiecznej części czynnej;
- pojedyncze uszkodzenie powinno być brane pod uwagę w przypadku, gdy:
 - dostępna nie niebezpieczna część czynna staje się częścią czynną niebezpieczną (np. w wyniku niedotrzymania ograniczenia ustalonego prądu dotykowego i ładunku);
 - część przewodząca dostępna staje się częścią niebezpieczną pod napięciem (np. w wyniku uszkodzenia izolacji podstawowej w stosunku do części przewodzących dostępnych);
 - część czynna niebezpieczna staje się dostępna (np. w wyniku mechanicznego uszkodzenia obudowy; obecnie uważa się, że taka okoliczność nie powinna być brana pod uwagę, tzn. wystąpienie takiej okoliczności nie jest dopuszczalne).

Ochrona w warunkach normalnych i przy pojedynczym uszkodzeniu może być zrealizowana przez zastosowanie:

- dwóch niezależnych środków – środka ochrony podstawowej i niezależnego środka ochrony przy uszkodzeniu;
- jednego środka ochrony, nazywanego środkiem ochrony wzmocnionej o takich właściwościach, aby efektywność ochrony była równoważna osiągniętej za pomocą dwóch niezależnych środków.

Ochrona przeciwporażeniowa przy dotyku pośrednim w PN-EN 50122-1

Zakres zastosowania i podstawowe wymagania stawiane ochronie

W 2003 r. została wydana norma PN-EN 50122-1 [3] dotycząca ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach stacjonarnych w systemie elektrycznej trakcji kolejowej. Jest ona tłumaczeniem normy EN 50122-1 z 1999 r. Podstawowe zasady i kryteria skuteczności ochrony przy dotyku pośrednim (przy uszkodzeniu) zawarte są w rozdziałach 5 (Środki ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach o napięciu znamionowym powyżej 1 kV a.c. do 25 kV a.c. lub d.c. w stosunku do ziemi) i 7 (Ochrona przed zagrożeniem związanym z potencjałem szyny). Poniżej przytoczono niektóre postanowienia tych rozdziałów. Kursywą zaznaczono słowa dodane przez autora.

Postanowienia zawarte w rozdziale 5 normy [3] dotyczące ochrony przy dotyku pośrednim w systemie kolejowej trakcji elektrycznej 3 kV d.c. są następujące:

5.2.1. Środki ochrony przy dotyku pośrednim powinny być stosowane w przypadku dostępnych części przewodzących i elementów systemu górnej sieci jezdnej.

5.2.2.2. W celu ograniczenia prądów błędzących w systemie trakcji d.c., bezpośrednie uziemienie szyn jezdnych nie jest zalecane. Wszystkie części przewodzące, które nie są izolowane od ziemi, powinny być połączony z ziemią i nie powinny być połączone z obwodem powrotnym.

W takim przypadku powinno być stosowane urządzenie ograniczające napięcie, pozwalające na stworzenie połączenia między dostępnymi częściami przewodzącymi i obwodem powrotnym, umożliwiającego przerwanie prądu w krótkim czasie tak, aby ograniczyć napięcie określone w tablicach 4 i 5 (*patrz rozdz. 7*) lub w 7.3.3.

Uwaga: Metodą alternatywną jest izolowanie od ziemi wszystkich słupów i konstrukcji, a następnie ich bezpośrednie łączenia z obwodem powrotnym.

5.3.1. W przypadkach konstrukcji wykonanych całkowicie lub częściowo z materiałów przewodzących (np. konstrukcje stalowe, zbrojone konstrukcje betonowe) i w przypadku konstrukcji metalowej (np. słupy górnej sieci jezdnej, zbrojone słupy betonowe, płoty metalowe, rury drenowe, szyny jezdne systemów trakcji nie elektrycznej), które mogą znaleźć się pod napięciem wskutek zerwania górnej sieci jezdnej oraz zerwania lub wykolejenia się pantografu, należy stosować, jeśli to konieczne, środki ochrony przed utrzymywaniem się niebezpiecznych napięć dotykowych określonych w 5.2.

Podstawowe postanowienia zawarte w rozdziale 7 normy [3], dotyczące ochrony przy dotyku pośrednim w systemie kolejowej trakcji elektrycznej 3 kV d.c., są następujące.

7.1.1 Zależny od miejsca i czasu potencjał szyny prowadzi do występowania napięć dotykowych w stanach awaryjnych lub napięć dostępnych w warunkach roboczych.

Uwaga – w normie [3] podano następującą definicję napięcia dostępnego: Napięcie między szynami jezdnyymi i ziemią występujące w warunkach normalnych przy przepływie w szynach jezdnych trakcyjnego prądu powrotnego, albo w stanie awaryjnym (przy uszkodzeniu).

Wielkości podane w rozdziale 7 powinny być traktowane jako dopuszczalne wielkości maksymalne. Wszystkie napięcia (w tym także napięcia d.c.) podane są jako wielkości skuteczne w rozpatrywanym przedziale czasu.

W przypadku napięć, które zmieniają się znacząco, należy zwracać szczególną uwagę na wybór przedziału czasu tak, aby zachodziła pewność, że rozpatrzono najbardziej niekorzystne warunki.

...

7.1.3. Czasy trwania stanu awaryjnego (*uszkodzenia*) uwzględniają prawidłowe zadziaływanie urządzenia ochronnego i wyłączników.

Uwaga: We wszystkich tablicach rozdziału 7 wielkości pośrednie czasów trwania mogą być obliczone jako interpolacja liniowa.

7.1.4. Napięcia dotykowe/dostępne są sklasyfikowane ze względu na czas trwania, jak to podano w tabeli 1 (tab. 3). Kategoria krótkiego czasu trwania przepływu (*prądu rażeniowego*) powinna mieć zastosowania tylko w przypadku napięć dotykowych.

Tabela 3

Czas trwania przepływu prądu rażeniowego

Przebieg prądu	Czas t [s]
krótki	$\leq 0,5$
tymczasowy	$0,5 < t \leq 300$
ciągły	> 300

7.3.1. W systemie trakcji d.c. i krótkim przepływie prądu napięcie dotykowe *spodziewane* nie powinno przekraczać wielkości podanych w tabeli 4.

Tabela 4

Maksymalne (największe) dopuszczalne napięcia dotykowe U_T w systemach trakcji d.c. jako funkcji czasu t trwania przepływu prądu (krótki przepływ prądu)

Czas t [s]	Napięcie U_T (V)
0,02	940
0,05	770
0,10	660
0,20	535
0,30	480
0,40	435
0,50	395

7.3.2.1. W systemie trakcji d.c. i przy tymczasowym przepływie prądu Napięcie dostępne nie powinno przekraczać wielkości podanych w tabeli 5.

Tabela 5

Maksymalne (największe) dopuszczalne napięcia dostępne U_a w systemach trakcji d.c. jako funkcji czasu t trwania przepływu prądu (tymczasowy przepływ prądu)

Czas t [s]	Napięcie U_a (V)
0,6	310
0,7	270
0,8	240
0,9	200
1,0	170
≤ 300	150

7.3.2.2. W przypadkach warsztatów i podobnych miejsc należy stosować wymagania określone w 7.3.3.

7.3.3. W systemie trakcji d.c. i przy ciągłym przepływie prądu Napięcie dostępne nie powinno przekraczać 120 V, z wyjątkiem warsztatów i podobnych miejsc, gdzie graniczną wielkością powinna być wielkość 60 V.

7.3.4. Aby stwierdzić czy możliwe jest występowanie niedopuszczalnie wysokiego napięcia, potencjał szyny w danym punkcie powinien być wyznaczony dla warunków normalnej pracy, jak i dla stanu awaryjnego na podstawie spadku napięcia w przewodach powrotnych.

7.3.5. Jeżeli potencjał szyny jest określony obliczeniowo, obliczenia takie powinny być przeprowadzone dla maksymalnej wielkości prądu roboczego i prądu zwarciovego płynącego przez szynę jezdnią. Przy obliczeniach zwarciovych powinien być brany pod uwagę także początkowy prąd zwarciovy. Wielkości wyjściowe dla poszczególnych potencjałów szyn można znaleźć w załączniku C (*Wielkości wyjściowe dla charakterystycznych potencjałów szyny*).

7.2.7. Jeżeli wielkości podane w tabelach 4 lub 5 albo w 7.3.3. są przekroczone, należy rozpatrywać zastosowanie niżej podanych środków służących ograniczeniu napięcia dotykowego/dostępnego bezpośrednio lub za pomocą zmniejszenia potencjału szyny:

- poprawy uziemienia konstrukcji przewodzących, opisanego w 5.2.2.2, mającej na celu ograniczenia potencjału szyny w stanach awaryjnych,
- zastosowanie urządzenia ograniczającego napięcie,
- wzmocnienia przewodu powrotnego,
- zastosowanie izolowania powierzchni do przebywania,
- stopniowania potencjału przez zastosowanie uziomów o odpowiedniej powierzchni (sterowania rozkładu potencjałów na powierzchni stanowisk),
- ograniczenia czasu wyłączania potrzebnego do przerwania prądu zwarciovego.

Założenia przyjęte przy wyznaczaniu największych dopuszczalnych napięć dotykowych i dostępnych

Sposób wyznaczenia wielkości dopuszczalnych napięć dotykowych (spodziewanych)/dostępnych podanych w tabelach 4 i 5 podano w załączniku D normy PN-EN 50122-1 [1]. Przy obliczeniach tych przyjęto, że:

- rażenie następuje na drodze ręka–obie stopy;
- rezystancja ciała dla poszczególnych wielkości napięć odpowiada 50% populacji (patrz wielkości R_T zamieszczone w środkowej kolumnie tab. 2 pomnożone przez 0,75);

- prąd rażeniowy nie powinien wywoływać fibrylacji komór serca z prawdopodobieństwem 0% (patrz krzywa c_1 na rys. 1);
- w obwodzie rażeniowym:
 - przy obliczaniu napięcia U_T , oprócz rezystancji R_T , występuje dodatkowa rezystancja $R_A = 1000 \Omega$;
 - przy obliczaniu napięć U_a dla czasów od 1,0 s do 300 s występuje jedynie rezystancja R_T ;
 - przy obliczaniu napięć U_a dla czasów między 0,5 s i 1,0 s występują wielkości napięć pośrednie, uzyskane na drodze interpolacji napięć największych dopuszczalnych dla czasów 0,5 i 1,0.

Metody pomiaru napięć dotykowych/dostępnych

Opis metody pomiaru napięć dotykowych/dostępnych zapisany jest w załączniku E (normatywny) normy PN-EN 50122-1 [3]. Tekst załącznika E przytoczono bez jakichkolwiek zmian, aby można było wykazać, że zawiera on postanowienia nieściśle i odmiennie od podawanych w innych normach oraz zapisy błędnie przetłumaczone (np. słowo angielskie *feet* przetłumaczono jako „stopa” zamiast „stopy”, co może doprowadzić do nieprawidłowego wykonania pomiarów).

„Pomiar napięcia dotykowego/dostępnego powinien być przeprowadzany z użyciem woltomierza o rezystancji wewnętrznej 1 k Ω .

Każda elektroda pomiarowa, służąca do symulacji stopy, powinna mieć całkowitą powierzchnię 400 cm² i powinna być dociskana do ziemi z minimalną siłą 500 N. Alternatywnie, zamiast elektrody pomiarowej można użyć sondy pomiarowej wbitej 20 cm w ziemię.

Aby wykonać pomiar napięcia dotykowego/dostępnego w przypadku betonu lub wysuszonej gleby, pomiędzy elektrodami symulującymi stopę a ziemią należy umieścić wilgotną tkaninę lub rozprowadzić warstwę wody. Elektrody symulujące stopę powinny być rozmieszczone w odległości nie mniejszej niż 1 m od dostępnych części przewodzących.

Do symulacji ręki powinna być użyta elektroda pomiarowa np. elektroda ostrzowa. W takim przypadku, w sposób pewny powinny być przekłute powłoki malarskie (lecz nie warstwy izolacji).

Jeden zacisk woltomierza powinien być połączony z elektrodą symulującą rękę, drugi zacisk powinien być połączony z elektrodą symulującą stopę. Pomiar wystarczy przeprowadzić przez losowe sprawdzanie instalacji.

Uwaga: w celu określenia górnej granicy napięcia dotykowego/dostępnego często odpowiedni jest pomiar z użyciem woltomierza o dużej rezystancji wewnętrznej i sondy wbitej na głębokość 10 cm.

W punktach pomiarowych, w których rezystancja przejścia do ziemi elektrody symulującej stopę nie przekracza kilkuset omów, okazało się, że zadawalające rezultaty przynosi używanie urządzeń pomiarowych o wysokiej i niskiej rezystancji. Jeżeli napięcie spada znacząco w czasie przełączania z wysokiej rezystancji wewnętrznej na rezystancję wewnętrzną 1 k Ω , świadczy to o tym, że rezystancja przejścia do ziemi w obwodzie pomiarowym są zbyt wysokie”.

Uwagi ogólne do postanowień normy PN-EN 50122-1

W rozdziałach 5 i 7 normy PN-EN 50122-1 [3] podano postanowienia dotyczące ochrony przeciwporażeniowej przy dotyku po-

średnim w kolejowych sieciach trakcyjnych w warunkach awaryjnych (uszkodzeniowych) oraz w warunkach roboczych.

W warunkach awaryjnych (np. zerwanie przewodów górnej sieci jezdnej lub wykolejeniu pantografu) na częściach przewodzących, które może dotknąć człowiek (przede wszystkim słupów górnej sieci jezdnej i szyny jezdne systemów trakcji) mogą pojawić się niebezpieczne napięcia nazywane w normie największym dopuszczalnym „napięciem dotykowym” (napięcia dotykowe w normie są oznaczone U_T).

W warunkach roboczych na szynach jezdnych mogą pojawić się niebezpieczne napięcia (względem ziemi), zwanych w normie „największym dopuszczalnym napięciem dostępnym” (U_a), wywołane przepływem prądów powrotnych. W normie podano wielkości największych dopuszczalnych napięć U_T i U_a . Nie podano żadnych dopuszczalnych rezystancji uziemień, które mogą spełniać określoną funkcję w ochronie przeciwporażeniowej.

Należy stwierdzić, że wymienione terminy napięć są dostównym tłumaczeniem terminów angielskich i są odmiennie od stosowanych obecnie w obiektach elektroenergetycznych prądu przemiennego. Obecnie napięcia mogące stwarzać zagrożenia porażeniowe przy dotyku pośrednim nazywane są: „napięcia dotykowe spodziewane” (jest to napięcie mogące zasilać obwód wrażliwy) oraz „napięcie dotykowe rzeczywiste” lub „napięcie dotykowe rażeniowe” (jest to spadek napięcia na oporze ciała człowieka).

W normie PN-EN 50122-1 dopuszczalne „napięcia dotykowe” odpowiadają dopuszczalnym „napięciom dotykowym spodziewanym” (terminowi stosowanemu w innych normach). Najwyższe dopuszczalne napięcia dostępne, w zależności od czasu utrzymywania to najwyższe dopuszczalne napięcia dotykowe, to spodziewane lub najwyższe spodziewane napięcia dotykowe rażeniowe. Tak więc, może się okazać, że dla zmierzonych napięć U_T i U_a należy zastosować nieco inny układ pomiarowy.

Ograniczenie niebezpiecznych napięć dotykowych w warunkach awaryjnych (uszkodzeniowych), według normy PN-EN 50122-1, powinno być realizowane przez połączenie części przewodzących stwarzających zagrożenie z siecią powrotną tak, aby pętla zwarciowa miała małą rezystancję, co umożliwi wyłączenie zasilania w odpowiednim czasie. Zaleca się, aby to połączenie nastąpiło jedynie w okresie przepływu prądu ziemnozwarciowego. Jeżeli napięcia stwarzające zagrożenie są przekroczone przy zastosowanym czasie wyłączenia obwodu uszkodzonego, mogą być stosowane inne środki ochrony wymienione w p. 7.2.7 normy [3].

Przedstawiony w załączniku E (normatywnym) normy PN-EN 50122-1 opis metody pomiaru napięć U_T jest napisany tak, że może prowadzić do nieprawidłowej realizacji pomiarów. Należałoby podać opis metody pomiaru zawarty w normie PN-E-05115 [2] dotyczący instalacji elektrycznych prądu przemiennego o napięciach przekraczających 1 kV.

Ogólna ocena realizacji ochrony przed dotykiem pośrednim w kolejowej trakcji elektrycznej z uczynieniami grupowymi

Ogólną ocenę realizacji ochrony przed dotykiem pośrednim w kolejowej trakcji elektrycznej z uszynieniami grupowymi dokonano na podstawie analiz zapisów wytycznych PKP [6]. Wytyczne te dotyczą nie tylko ochrony przeciwporażeniowej przy dotyku po-

średnim, ale również ochrony przed innymi skutkami prądów ziemnozwarciowych.

Podstawowym niedociągnięciem wytycznych jest brak podstawowych zasad i kryteriów oceny skuteczności ochrony przy dotyku pośrednim, które powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu i eksploatacji ochrony.

Jedynym limitowanym parametrem elektrycznym, podanym w wytycznych [6], jest dopuszczalna wypadkowa rezystancja uziomu (uziemienia) jednej sekcji uszyczenia grupowego. Wielkość ta, wynosząca 2Ω , dla opisywanej ochrony przeciwporażeniowej jest nieuzasadniona i nieistotna, gdyż prąd ziemnozwarciowy praktycznie zamyka się w obwodzie metalicznym, a nie przez ziemię. Uziemienia te w warunkach pracy normalnej i awaryjnej mogą przybliżyć potencjał części uziemionych do potencjału ziemi. Pełnią one wtedy rolę podobną do roli uziomów przewodów PEN w sieciach niskiego napięcia prądu przemiennego pracujących w układzie TN.

Wytyczne [6] nie zawierają postanowień dotyczących sprawdzania eksploatacyjnych napięć dotykowych i dostępnych.

Terminologia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej w wytycznych [6] budzi wiele zastrzeżeń (np. ograniczniki niskonapięciowe, rezystancja uziomu).

Wnioski ogólne

1. Projektowanie, budowa i eksploatacja ochrony przed dotykiem pośrednim w sieciach trakcyjnych powinny być oparte na kryteriach pozwalających stwierdzić czy napięcia stwarzające zagrożenie są ograniczone do wielkości dopuszczalnych. Takich kryteriów nie ma w Wytycznych PKP [6].

2. Należy podjąć pracę nad uwzględnieniem w kryteriach skuteczności omawianej ochrony przeciwporażeniowej w kolejowych sieciach trakcyjnych prawdopodobieństwa dotyku części przewodzących dostępnych, na których mogą pojawić się niebezpieczne napięcia. Takie prawdopodobieństwo jest uwzględnione obecnie w liniach elektroenergetycznych wysokiego napięcia prądu prze-

miennego. Na przykład w liniach napowietrznych wysokiego napięcia z automatyką zabezpieczeniową, przy słupach przewodzących, stojących na terenach rzadko uczęszczanych nie wymaga się [4] ograniczania napięć dotykowych do wielkości dopuszczalnych. Zastosowanie podobnych zasad w sieciach kolejowych trakcji elektrycznych pozwoliłyby na znaczne ograniczenie kosztów wykonania tych sieci. Dopuszczenie takich zasad w kolejnictwie powinno być oparte między innymi o statystykę śmiertelnych wypadków porażień przy dotyku pośrednim w tych obiektach.



Literatura

- [1] IEC/TR2 604791-1:1993. *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects.*
- [2] PN-E-05115:2002. *Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.*
- [3] PN-EN 50122-1:2003. *Zastosowanie kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Część 1: Środki ochrony dotyczące bezpieczeństwa elektrycznego i uziemień.*
- [4] PN-EN 50341-1:2005. *Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 1. Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne.*
- [5] PN-EN 61140:2005. *Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń.*
- [6] *Wytyczne projektowania i eksploatacji systemu ochrony ziemnozwarciowej o przeciwporażeniowej z uczynieniami grupowymi w układzie otwartym na liniach kolejowych.* Załącznik do Decyzji nr 6 Członka Zarządu ds. Technicznych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A z 9 lutego 2006 r. Warszawa 2006.

Autor

dr inż. Witold Jabłoński
Wrocław
witold.jablonski@pwr.wroc.pl

➤ Dokończenie ze s. 23

Literatura

- [1] Gapiński Sz., Krystek R.: *Bezpieczeństwo transportu. Czy potrzebna jest integracja systemów bezpieczeństwa wszystkich rodzajów transportu?* Magazyn AUTOSTRADY, Budownictwo drogowo-mostowe 10/2008, s. 26–41.
- [2] Geysen W. I.: *The structure of Safety Science: Definitions. Goods and Instruments.* 1-st World. Congress on Safety Science. Cologne. 1990.
- [3] Goszczyńska M.: *Zasada nierealistycznego optymizmu w zniekształcaniu ocen ryzyka.* Materiały na VI Sympozjum Bezpieczeństwa Systemów. Kraków 10–13.06.1996. ITWL Warszawa.
- [4] Jamrozik K.: *Inteligentne systemy transportowe dla bezpieczeństwa ruchu drogowego.* ITS Przegląd Inteligentne Systemy Transportowe 2/2008, s. 6–8.
- [5] Kuhlman A.: *Einführung in die Sicherheitswissenschaft.* TÜV Verlag. Köln. 1981.
- [6] Mikołajków L.: *Bezpieczeństwo na przejazdach kolejowych. Nierozwaga i brak ostrożności silniejsze niż rozsądek.* Infrastruktura 10/2008, s. 34–36.
- [7] Peden et. al.: *World Report on Road Traffic Injury Prevention World Health Organization.* Geneva 2004.

- [8] Szopa T.: *Wprowadzenie w problematykę bezpieczeństwa. Bezpieczeństwo człowieka we współczesnym świecie.* IPWC Warszawa. 1998.
- [9] Zielińska A.: *Ocena zagrożeń na polskich drogach na podstawie analizy danych statystycznych o wypadkach.* Biblioteka Ubezpieczeniowa. Wiadomości ubezpieczeniowe 7/2008, s. 39–52.
- [10] *Analiza stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego w oddziałach i zakładach linii kolejowych PKP PLK S.A. w 2007 r.* Warszawa. 2008.
- [11] *Rocznik Statystyczny 2007.*
- [12] *Słownik języka polskiego.* PWN, Warszawa. 1978.
- [13] *Transport Szynowy.* Statystyki i Analizy, 2008.

Autor

Stanisław Janusz Cieślakowski
Politechnika Radomska
ul. Malczewskiego 29
26-600 Radom
e-mail: jank26612@wp.pl