

Edward Musiał
Politechnika Gdańska

OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA W URZĄDZENIACH NISKIEGO NAPIĘCIA. KONSEKWENCJE USTANOWIENIA NORMY PN-HD 60364-4-41:2009¹

Abstrakt

W ciągu ostatnich miesięcy ukazały się w języku polskim dwa ważne arkusze normy PN-HD 60364, co otwiera drogę do powoływania ich w przepisach prawa powszechnego. W listopadzie 2009 r. został ustanowiony arkusz 41 „Ochrona przed porażeniem elektrycznym” [11], a w styczniu 2010 roku – arkusz 54 „Uziemienia, przewody ochronne i przewody połączeń ochronnych” [12]. Oba arkusze były wcześniej dostępne w wersji angielskiej, ale – zważywszy obcojęzyczne wydanie i związany z tym niższy formalny status normy – nie były powszechnie znane ani wykorzystywane.

Nowe arkusze nie wprowadzają zmian rewolucyjnych, tym niemniej porządkują wiele istotnych kwestii, co nieraz prowadzi do zaostrzenia wcześniej obowiązujących wymagań; dotyczy to zwłaszcza arkusza 41. Niestety, oba wspomniane arkusze są niedbale przetłumaczone na język polski, podobnie jak inne, wcześniej wydane polskojęzyczne arkusze normy 60364. Jest wiele błędów językowych, a – co gorsza – niektóre postanowienia są przeinaczone, mają inną treść niż w oryginale. Oznaczenie HD... IDT na okładce normy, sugerujące identyczność z tekstem oryginalnym normy HD, jest zatem zwodnicze.

1. Systematyka i filozofia norm bezpieczeństwa

Właściwy tekst normy PN-HD 60364-4-41 jest poprzedzony Wprowadzeniem (p. 410), w którym objaśniono jej status wśród ogółu norm bezpieczeństwa (*safety standards*), wywołujący określone implikacje. Priorytetowym celem normalizacji IEC jest zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikom urządzeń elektrycznych. Z tego powodu Zarząd Normalizacyjny SMB (rys. 1), koordynujący pracę licznych komitetów technicznych (*Technical Committees, TCs*) zajmujących się określonymi dziedzinami elektryki, tworzy wspierający go Komitet Doradczy ds. Bezpieczeństwa ACOS (z udziałem m.in. członków zainteresowanych TCs), który ma w trybie ciągłym czuwać, aby zasady i kryteria oceny bezpieczeństwa, przyjmowane i przestrzegane przez poszczególne TCs, były jednolite.

ACOS zleca wskazanej grupie komitetów technicznych (TCs) opracowanie **norm bezpieczeństwa podstawowych** (*basic safety publications, BSPs*), które dotyczą ogółu wyrobów elektrycznych, wchodzących w zakres kompetencji wielu TCs. Chodzi o normy dotyczące stopni ochrony zapewnianej przez obudowy [7], koordynacji izolacji [8], czy wspólnych aspektów ochrony przed porażeniem [9]. Normy bezpieczeństwa podstawowe są zasadniczo przeznaczone dla TCs, tzn. dla normalizatorów tworzących normy pochodne i powinny one spełniać wymagania sformułowane w IEC Guide 104 [4] oraz w ISO/IEC Guide 51 [6]. Na ogół nie są one przeznaczone

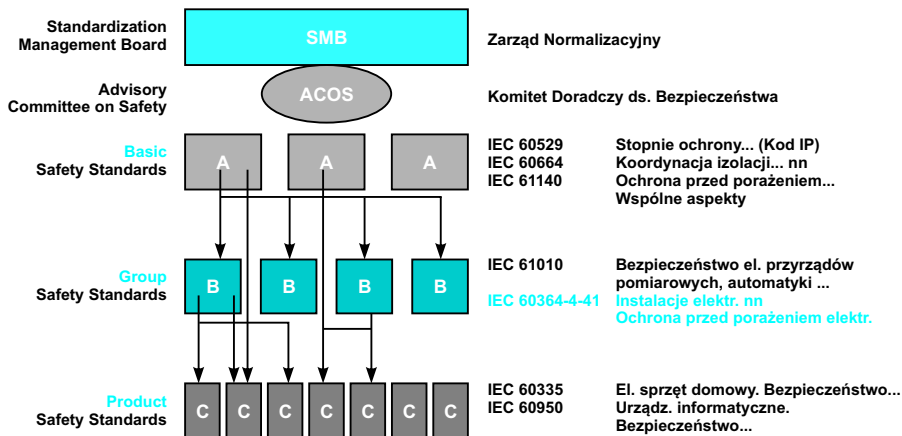
¹⁾ Niniejszy referat dra inż. Edwarda Musiała znalazł się w programie konferencji „AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA”, w dniach 23-26 czerwca 2010 r. w Juracie. Tekst publikujemy w porozumieniu z firmą INFOTECH z Gdańska, organizatorem konferencji.

dla producentów ani dla instytucji certyfikujących, a ze względu na ich charakter ogólny i nadrzędny, powinny być jak najrzadziej nowelizowane.

Podobnie, ACOS zleca opracowanie **norm bezpieczeństwa grupowych** (*group safety publications, GSPs*) dotyczących wyrobów wchodzących w zakres kompetencji dwóch lub więcej TCs; przykładem jest norma IEC 60364-4-41, pierwowzór dokumentu HD 60364-4-41. GSP są to takie normy produktowe, które mają być wykorzystywane przez dwa lub więcej TCs, zajmujące się pokrewną tematyką. Wyjaśniają m.in. jak wybrać właściwą ostrość określonych prób przepisanych w normach bezpieczeństwa podstawowych, jednolity dla rodziny wyrobów.

Uzupełnieniem są liczne **normy bezpieczeństwa produktowe** (*product safety publications, PSPs*) obejmujące wszelkie aspekty bezpieczeństwa jednego lub więcej wyrobów wchodzących w zakres kompetencji pojedynczego komitetu technicznego (TC). Wyrób powinien być inherentnie bezpieczny w następstwie jego koncepcji i wykonania. Jeśli to nieosiągalne, to należy wskazać środki ochrony stosowne do zagrożeń. Jeśli mimo to pozostaje jakiegokolwiek zagrożenie niezminimalizowane do akceptowalnego poziomu (ryzyka szczątkowego), to użytkownik powinien być o tym poinformowany. Zarazem powinien być pouczony, jakie przeszkolenia i/lub jakie indywidualne środki ochrony są potrzebne w celu zmniejszenia zagrożenia do poziomu akceptowalnego.

Między tymi trzema poziomami norm bezpieczeństwa obowiązuje zależność hierarchiczna: dokument niższego szczebla może uszczegółowić lub uzupełnić postanowienia dokumentu wyższego szczebla, ale nie powinien ich w żaden sposób modyfikować.



Rys. 1. Relacje między normami bezpieczeństwa różnej rangi [5] w pracach IEC

Podstawowa zasada ochrony przed porażeniem elektrycznym, sformułowana w punkcie 4 normy bezpieczeństwa podstawowej [9] głosi, że części czynne niebezpieczne nie powinny być dostępne, a części przewodzące dostępne nie powinny być niebezpieczne:

- ani w warunkach normalnego użytkowania,
- ani w warunkach pojedynczego uszkodzenia.

Za **warunki normalnego użytkowania** (*normal conditions*) uważa się sytuację, kiedy urządzenie jest używane zgodnie z przeznaczeniem, a wszelkie przewidziane środki ochrony są sprawne [4]. Porażeniom prądem w warunkach normalnego użytkowania ma zapobiegać 1. stopień ochrony, **ochrona przeciwporażeniowa podstawowa**, wymagana powszechnie, poza nielicznymi wyjątkowymi sytuacjami.

Za **warunki pojedynczego uszkodzenia** (*single fault conditions*) uważa się [4, 9] niesprawność jednego ze środków ochrony – z wyłączeniem środka ochrony wzmocnionej – bądź wprowadzające zagrożenie uszkodzenie jakiegokolwiek pojedynczego elementu (tzw. *uszkodzenie niebezpieczne*). Obejmuje to również sytuacje, kiedy jedno uszkodzenie nieuchronnie wywołuje niesprawność więcej niż jednego elementu. Porażeniom prądem w warunkach pojedynczego uszkodzenia ma zapobiegać 2. stopień ochrony, **ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa** (ochrona przy uszkodzeniu), wymagana powszechnie, poza nielicznymi ściśle określonymi wyjątkami.

W określonych przypadkach jest dopuszczalna **ochrona wzmocniona**, czyli pojedynczy środek ochrony zastępujący zarówno ochronę podstawową, jak i ochronę dodatkową (ochronę przy uszkodzeniu).

3. stopień ochrony, **ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca** (uzupełniająca ochronę podstawową i/lub ochronę dodatkową), ma zapobiegać porażeniom w razie niesprawności bądź ominięcia środków ochrony podstawowej lub ochrony dodatkowej. Stosowanie tej ochrony jest wymagane zwłaszcza w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem (miejsca wilgotne lub mokre, nieunikniona styczność z częściami przewodzącymi obcymi) oraz w obwodach odbiorczych zasilających urządzenia ręczne.

Norma bezpieczeństwa produktowa powinna zawierać wszelkie postanowienia uwzględniające ryzyko zarówno w warunkach normalnego użytkowania, jak i w warunkach pojedynczego uszkodzenia. Uważa się, że prawdopodobieństwo jednoczesnego wystąpienia dwóch niezależnych uszkodzeń niebezpiecznych jest bardzo małe, na ogół sytuuje się na poziomie nieprzekraczającym akceptowalnego **ryzyka szczątkowego**. Takie jednoznaczne sformułowania w normach, że z konieczności dopuszcza się pewne nieuniknione ryzyko wypadku, powinny ucinąć spekulacje apostołów bezpieczeństwa absolutnego, stuprocentowego, które jest mrzonką.

Niedawna nowelizacja Przewodnika 104 [5] odwołuje się do metod analizy bezpieczeństwa funkcjonalnego, odmiennie uwzględniających uszkodzenia przypadkowe i uszkodzenia systematyczne. Komitety Techniczne TCs miałyby możliwość wyboru surowszej procedury oceny ryzyka: albo proste kryterium pojedynczego uszkodzenia, albo złożone kryteria bezpieczeństwa funkcjonalnego.

Normy dotyczą ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym ludzi oraz zwierząt hodowlanych (*livestock*), a nie zwierząt w ogóle, jak to napisano w tekście polskim.

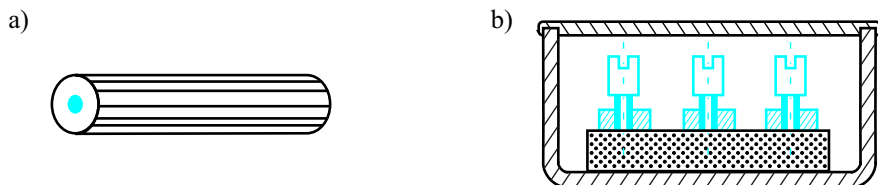
Poza instalacjami na użytek osób postronnych zdarzają się, zwłaszcza w przemyśle oraz w laboratoriach elektrycznych, urządzenia technologiczne i stanowiska

probiercze, przy których nie sposób zastosować zwykle rozwiązania ochrony przeciwporażeniowej, bo jest to niewykonalne ze względów technologicznych lub eksploatacyjnych. Wolno wtedy (p. 410.3.7) w zamian zastosować dodatkowe ochronne środki techniczne oraz środki organizacyjne, w równoważnym stopniu ograniczające ryzyko porażenia. To odstępstwo może dotyczyć na przykład obwodów głównoprądowych urządzeń do spawania i zgrzewania, urządzeń elektrotermicznych i elektrochemicznych oraz urządzeń laboratoryjnych przeznaczonych do badań, prób i prac strojeniowych.

2. Ochrona przeciwporażeniowa podstawowa

W warunkach normalnego użytkowania, tzn. kiedy nieuszkodzone, sprawne urządzenie jest używane zgodnie z przeznaczeniem (zgodnie z dokumentacją wytwórcy oraz z instrukcją eksploatacji), powinny być spełnione dwa wymagania:

- 1) Części czynne, wchodzące w skład obwodu elektrycznego, mogące znajdować się pod niebezpiecznym dla człowieka napięciem względem ziemi, nie powinny być dostępne dla dotyku.
- 2) Części przewodzące dostępne, jeśli rozpatrywane urządzenie je ma, nie powinny znajdować się pod wyczuwalnym napięciem względem ziemi. To wymaganie dyktuje pewne warunki odnośnie do dopuszczalnej wartości prądu upływowego: **prądu w przewodzie ochronnym** lub **prądu dotykowego**, zależnie od obecności bądź braku połączeń ochronnych.



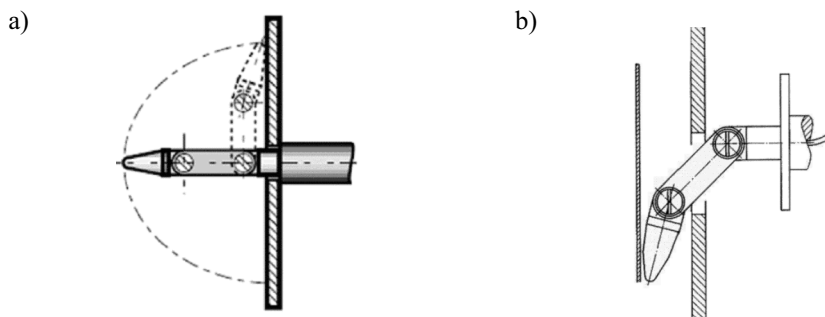
Rys. 2. Środki ochrony podstawowej powszechnie dopuszczalne: a) izolacja podstawowa (przewodu); b) obudowa (tabliczki zaciskowej)

Spełnienie obu tych wymagań powinien zapewnić pierwszy stopień ochrony, **ochrona przeciwporażeniowa podstawowa**, czyli zespół środków technicznych chroniących przed zetknięciem się człowieka z częściami czynnymi oraz przed udzieleniem się napięcia częściom przewodzącym dostępnym. W przypadku urządzeń przeznaczonych do użytkowania przez osoby postronne (laików) ochrona podstawowa powinna chronić **przed umyślnym (zamierzonym) dotknięciem** części czynnych i powinna polegać na zastosowaniu (rys. 2) co najmniej jednego z następujących środków:

- **Izolacja podstawowa** w postaci trwałego i całkowitego pokrycia części czynnych materiałem izolacyjnym stałym, dającym się usunąć tylko przez zniszczenie. Izolacja podstawowa powinna być odporna na narażenia występujące podczas użytkowania (wilgoć, zapylenie, ciepło, drgania) i gwarantować należytą trwa-

łość. Powłok z emalii, lakieru, tlenku lub materiału włóknistego nie uważa się za izolację podstawową, nawet gdyby wystarczały jako izolacja robocza (funkcjonalna); części tak izolowane traktuje się jak części gołe.

- **Obudowa** o stopniu ochrony co najmniej IP2X lub IPXXB (rys. 3), tzn. chroniąca przed umyślnym (zamierzonym) dotknięciem palcem części niebezpiecznych (części czynnych i ew. ruchomych części mechanicznych). Łatwo dostępne górne poziome powierzchnie obudowy powinny mieć stopień ochrony co najmniej IP4X lub IPXXD (tabl. 1). Spełnienie warunków pierwszej cyfry charakterystycznej kodu IP wymaga zachowania odpowiednich odstępów między próbnikiem dostępu a częściami niebezpiecznymi. Normy produktowe mogą wymagać wyższego stopnia ochrony dla sprzętu powszechnego użytku, zwłaszcza dla sprzętu przeznaczonego dla dzieci i/lub dla osób niepełnosprawnych. Obudowa powinna mieć należyłą wytrzymałość mechaniczną oraz odporność na narażenia środowiska pracy i być trwale umocowana. Jej otwarcie lub usunięcie – jeśli odsłania części czynne – nie powinno być możliwe bez użycia klucza lub narzędzia. Rozwiązanie alternatywne polega na zastosowaniu blokady pozwalającej otworzyć lub usunąć obudowę dopiero po wyłączeniu napięcia i pozwalającej ponownie załączyć napięcie dopiero po zamknięciu lub założeniu obudowy.



Rys. 3. Sposób sprawdzania dostępu do części niebezpiecznych w obudowie przy stopniu ochrony: a) IP2X; b) IPXXB

Jeżeli rzeczywista ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych jest wyższa niż to wynika z pierwszej cyfry charakterystycznej kodu IP, to dodaje się

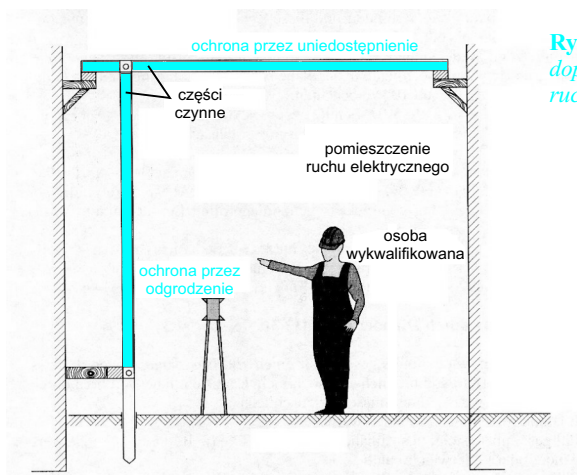
Tablica 1. Znaczenie liter dodatkowych kodu IP [7]

Litera dodatkowa kodu IP	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych	Próbnik dostępu
A	wierzchem ręki	Kula o średnicy \varnothing 50 mm
B	palcem	Przegubowy palec probierczy \varnothing 12, o długości 80 mm
C	narzędziem	Pręt probierczy \varnothing 2,5, dł. 100 mm
D	drutem	Drut probierczy \varnothing 1, dł. 100 mm

oznaczenie literą dodatkową (tabl. 1). Taki wyższy stopień ochrony uzyskuje się za pomocą przegród wewnętrznych, zwiększonych odstępów we wnętrzu lub odpowiedniego ukształtowania otworów.

W przypadku urządzeń instalowanych w pomieszczeniach ruchu elektrycznego, dostępnych tylko dla osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych w zakresie elektryki i ewentualnie osób pozostających pod ich nadzorem, dopuszcza się w uzasadnionych przypadkach, by ochrona podstawowa chroniła tylko **przed przypadkowym (niezamierzonym) dotknięciem** części czynnych (rys. 4). Wobec tego obudowa może dawać się otworzyć lub usunąć bez użycia klucza lub narzędzia, a zamiast izolacji podstawowej albo obudowy można zastosować co najmniej jeden z następujących środków:

- **Odgrodzenie (przeszkoda)**, czyli element konstrukcyjny o stopniu ochrony mniejszym niż IP2X, chroniący przed przypadkowym dotknięciem części czynnych i zbytym zbliżeniem do nich, np. w postaci poręczy, bariery, taśmy lub linki. Odgrodzenie powinno być zabezpieczone przed niezamierzonym usunięciem, ale może dać się usunąć bez użycia klucza lub narzędzia. Odgrodzenie tymczasowe – założone na czas prac konserwacyjno-remontowych – należy, a odgrodzenie stałe zaleca się, wykonywać z elementów (poręczy, linek) nieprzewodzących.
- **Uniedostępnienie**, czyli umieszczenie części czynnych **poza zasięgiem ręki** człowieka znajdującego się na **stanowisku dostępnym**, tzn. w miejscu, na którym człowiek o przeciętnej sprawności fizycznej może się znaleźć bez korzystania ze środków pomocniczych, jak drabina lub słupolazy. Ochrona zapobiega przypadkowemu dotknięciu części czynnych. Jeżeli podczas pracy na stanowisku dostępnym mogą być w użyciu wydłużone przedmioty przewodzące, to granice zasięgu ręki należy odpowiednio zwiększyć o długość tych przedmiotów. Przy określaniu zasięgu ręki w kierunku pionowym nie bierze się pod uwagę odgrodzenia (przeszkody), jeśli występuje.



Rys. 4. Środki ochrony podstawowej dopuszczalne tylko w pomieszczeniach ruchu elektrycznego

Norma nie wspomina o ochronie przez uniedostępnienie poza miejscami ruchu elektrycznego, w przypadku linii napowietrznych, co regulują odrębne dokumenty normatywne. Chodzi zwłaszcza o przyłącza wykonane przewodami gołymi, przebiegające nad łatwo dostępnymi dachami, nad tarasami lub balkonami albo w pobliżu okien. Takie sytuacje będą stopniowo zanikać, bo obecnie używa się tylko przewodów pełnoizolowanych przy budowie nowych i wymianie istniejących przyłączy niskiego napięcia.

3. Zakres stosowania ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej

Stosowanie ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) – oprócz ochrony podstawowej – jest wymagane w odniesieniu do wszelkich urządzeń elektrycznych (w rozumieniu IEV 826-16-01). Od tego obowiązku zwalnia zastosowanie ochrony wspomnianej, spełniającej jednocześnie wymagania stawiane zarówno ochronie podstawowej, jak i ochronie dodatkowej.

Pośród środków ochrony dodatkowej niektóre są **dopuszczone do powszechnego stosowania**, również w instalacjach użytkowanych przez osoby postronne (laików). Środkiem najtańszym i dlatego najszerszej stosowanym jest **samoczynne wyłączenie zasilania** (p. 411). Jego skuteczność jest uzależniona od warunków zasilania (impedancji pętli zwarciowej) oraz od ciągłości i prawidłowości połączeń przewodów ochronnych. Z tych powodów samoczynne wyłączanie zasilania słusznie uchodzi za dość zawodny środek ochrony dodatkowej.

Wspomnianych wad nie mają inne środki ochrony dodatkowej dopuszczone do powszechnego stosowania: **izolacja podwójna** lub **izolacja wzmocniona** (p. 412), **separacja** obwodu pojedynczego odbiornika (p. 413) oraz obwód napięcia bardzo niskiego **SELV** albo **PELV** zasilany ze źródła bezpiecznego (p. 414). Te środki ochrony obywają się bez przewodów ochronnych, a ich skuteczność nie zależy od warunków zasilania, ale – z różnych powodów – zakres ich stosowania jest ograniczony. Izolacja podwójna lub izolacja wzmocniona nie w każdym urządzeniu daje się zastosować i nie w każdym warunkach środowiskowych (np. w miejscach mokrych) dopuścić do eksploatacji. Pozostałe dwa środki ochrony, ze względu na koszty, nadają się do stosowania tylko w odniesieniu do nielicznych, wybranych urządzeń.

Są też środki ochrony dodatkowej **dopuszczone do stosowania tylko w instalacjach pozostających pod nadzorem osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych**, bo są szczególnie wrażliwe na niefachowe ingerencje, choćby pozornie niewinne. Chodzi o separację obwodu zasilającego więcej niż jeden odbiornik oraz o izolowanie stanowiska (z nieuziemionymi połączeniami wyrównawczymi miejscowymi lub bez nich).

Spotyka się w urządzeniach elektrycznych i ich osprzęcie części przewodzące dostępne (zwłaszcza trudno dostępne lub trudne do uchwycenia), ze strony których zagrożenie porażeniem jest znikome, a objęcie ich ochroną dodatkową przez przyłączenie przewodu ochronnego byłoby uciążliwe bądź praktycznie niewykonalne. W takich przypadkach kolejne normy i przepisy zezwalały na **odstąpienie od obowiązku stosowania ochrony dodatkowej**. W takim kontekście obecna norma [11] wymienia (p. 410.3.9) następujące części:

- znajdujące się poza zasięgiem ręki metalowe wsporniki izolatorów linii napowietrznych, np. stojaki dachowe i przyścienne, wysięgniki ścienne (brakuje wzmianki, że chodzi o elementy nieprzytwierdzone do przewodzących części budowli),
- słupy betonowe, których zbrojenie nie jest dostępne,
- części przewodzące dostępne o małych wymiarach (nie przekraczających ok. 50×50 mm) albo tak umieszczone, że człowiek nie może ich uchwycić ani zetknąć się z nimi większą powierzchnią ciała, a przyłączenie przewodu ochronnego byłoby trudne lub nie zapewniałoby niezawodnego połączenia (np. śruby, nity, tablice informacyjne, uchwyty przewodów),
- metalowe rury i obudowy urządzeń o izolacji podwójnej lub izolacji wzmocnionej.

Nasuwać się tu dwie uwagi. Po pierwsze, ostatnie wyliczenie jest bezsensowne, bo do części przewodzących dostępnych urządzeń o izolacji podwójnej przewodu ochronnego z zasady przyłączać nie wolno. Po drugie, norma [11] nie wymienia wielu innych części, dla których odstępstwo przewidywały niemal wszystkie wcześniejsze krajowe normy bądź przepisy. Byłoby niedobrze, gdyby polscy elektrycy potraktowali to jako nakaz obejmowania ochroną dodatkową części dawniej zwolnionych z tego obowiązku, a chodzi o następujące części:

- 1) krótkie odcinki rur metalowych lub innych osłon przewodzących (np. o długości do 2 m), chroniące izolowane przewody od uszkodzeń mechanicznych lub stanowiące przepusty przez ściany i stropy,
- 2) odcinki rur metalowych lub inne osłony przewodzące chroniące kable wprowadzane na słupy albo inne konstrukcje pionowe, jeśli te słupy albo konstrukcje nie podlegają ochronie dodatkowej,
- 3) przepusty kablowe z materiału przewodzącego,
- 4) metalowe obudowy liczników i innych przyrządów taryfowych w instalacjach nieprzemysłowych oraz tablice metalowe, na których są umieszczone tylko te przyrządy,
- 5) metalowe drzwi wejściowe do pomieszczeń ruchu elektrycznego, osadzone w ścianie z cegły lub betonu,
- 6) metalowe drzwiczki i osłony złączy kablowych, tablic rozdzielczych i podobnych urządzeń, osadzone w ścianie z cegły lub betonu i nie połączone przewodząco z częściami przewodzącymi dostępnymi znajdującymi się we wnętrzu.

4. Samoczynne wyłączenie zasilania – zasady ogólne

Samoczynne wyłączenie zasilania (IEV 195-04-10) polega na wyłączeniu obwodu, a przynajmniej tego bieguna obwodu, w którym wystąpiło uszkodzenie izolacji podstawowej, w celu zapewnienia ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu). Samoczynnego wyłączenia dokonują łączniki zabezpieczeniowe, stosownie do okoliczności: zabezpieczenia nadprądowe (wyłączniki nadprądowe, bezpieczniki) i/lub zabezpieczenia różnicowoprądowe.

Tablica 2. Największy dopuszczalny czas samoczynnego wyłączenia zasilania [s] w obwodach odbiorczych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A

Układ	50 V < $U_0 \leq 120$ V		120 V < $U_0 \leq 230$ V		230 V < $U_0 \leq 400$ V		$U_0 > 400$ V	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	¹⁾	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	¹⁾	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

¹⁾ Wyłączenie może być wymagane z innych powodów niż zagrożenie porażeniem.

Nowa norma [11] formułuje wymagania odnośnie do największego dopuszczalnego czasu samoczynnego wyłączenia zasilania (p. 411.3.2.2) w sposób bardziej kompletny i jednolity niż poprzednie jej edycje (tabl. 2). Przedtem brakowało logicznych postanowień co do czasu wyłączenia w układzie TT, w którym spodziewane napięcie dotykowe względem ziemi odniesienia (napięcie przy uszkodzeniu) ma wartość zbliżoną do napięcia fazowego układu U_0 , a nie parokrotnie mniejszą, jak w układzie TN; dopuszczano [10] beztrąsko czas 5 s (p. 413.1.4.2). Jeżeli poziom bezpieczeństwa ma być porównywalny, to czas wyłączenia zasilania w układzie TT powinien być znacznie krótszy niż w układzie TN; przy użyciu zabezpieczeń nadprądowych byłoby to niewykonalne, wobec czego dopuszczono pewne odstępstwo,

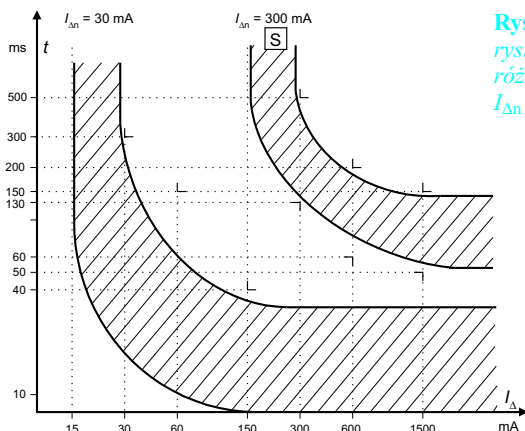
Tablica 3. Prąd wyłączający wyłączników różnicowoprądowych o różnych charakterystykach wyzwalań w zależności od wymaganego czasu samoczynnego wyłączenia zasilania

Czas wyłączenia zasilania [s]	Prąd wyłączający I_a wyrażony krotnością znamionowego prądu różnicowego zadziałania $I_{\Delta n}$					
	RCD bezwzględne i krótkozwłoczne			RCD selektywne o zwłocze 0,06 s		
	AC	A (30 mA)	B	AC	A	B
0,04	5	7 lub 12 ^a	10	–	–	–
0,07	5	7 lub 12 ^a	10	–	–	–
0,1	5	7 lub 12 ^a	10	–	–	–
0,2	2	4	4	2	2,8	4
0,3	1	2	2	2	2,8	4
0,4	1	2	2	2	2,8	4
0,8	1	2	2	1	1,4	2
1	1	2	2	1	1,4	2
5	1	2	2	1	1,4	2

a – Według danych producenta: albo $7I_{\Delta n}$, albo 0,35 A ($\approx 12I_{\Delta n}$)
 Podane krotności dotyczą prądu różnicowego przemiennego przy wyzwaniu AC, prądu pulsującego stałego – przy wyzwaniu A, prądu stałego o pomijalnym tętnieniu – przy wyzwaniu B.

o czym niżej. Upřednio brakowało też wymagań dla układów prądu stałego, bo tablice 41A oraz 41B w normie [10] dotyczyły urządzeń prądu przemiennego, chociaż tego wyraźnie nie napisano. Oba te mankamenty zostały usunięte.

Ponadto norma wyraźnie stanowi, że podane wartości czasu wyłączenia dotyczą też urządzeń różnicowoprądowych, a zatem ich prąd wyłączający I_a może być większy niż znamionowy prąd różnicowy zadziałania $I_{\Delta n}$ (tabl. 3, rys. 5). Nie wolno bezwiednie przyjmować $I_a = I_{\Delta n}$, lecz właściwą wartość I_a należy odczytać z charakterystyki wyzwalania $t = f(I_{\Delta})$ wyłącznika. W braku danych norma zaleca przyjmować $I_a = 5I_{\Delta n}$, co jednak nie zawsze jest konieczne, a czasem nie wystarcza, jak wynika z danych zawartych w tabl. 3 [15, 16]. Nie zmieniły się zasady określania prądu wyłączającego wyłączników nadprądowych i wkładek topikowych.



Rys. 5. Zestawienie pasmowych charakterystyk wyzwalania dwóch wyłączników różnicowoprądowych AC: bezwłocznego $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ i selektywnego $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$

Zarazem norma stanowi (p. 411.3.1.2), że niezbędnym uzupełnieniem ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania są **główne połączenia wyrównawcze** w każdym budynku, obejmujące:

- żyły ochronne oraz metalowe osłony, powłoki bądź ekrany przewodów instalacji elektrycznych i telekomunikacyjnych,
- części przewodzące obce (metalowe przewody wodne, gazowe, ogrzewcze i klimatyzacyjne, metalowe konstrukcje budowlane, łącznie z dostępnym zbrojeniem betonu).

Główne połączenia wyrównawcze ochronne powinny być wykonane z użyciem głównej szyny wyrównawczej, jak najbliższej miejsca wprowadzenia wszelkich instalacji do budynku. Normy grupy 60364-4-44, dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej, uzupełniają to zalecając wprowadzanie do budynku wszelkich instalacji w jednym i tym samym miejscu, nazywając to zasadą SEP (*single entry point*) lub zasadą CEP (*common entry point*). Dzięki temu główne połączenia wyrównawcze są krótkie, a tym samym bardziej niezawodne, a ponadto unika się tworzenia obszernych pętli przewodowych, w których mogą się indukować groźne przepięcia przy bliskich wyładowaniach atmosferycznych.

Czas wyłączenia przepisany w tabl. 2, w niektórych przypadkach bardzo mały, może wydawać się surowym wymaganiem, ale przecież dotyczy on tylko obwodów odbiorczych o niedużym prądzie znamionowym (≤ 32 A). Większy czas dopuszcza się w obwodach odbiorczych o większym prądzie znamionowym oraz w obwodach rozdzielczych: 5 s w układzie TN (p. 411.3.2.3), 1 s w układzie TT (p. 411.3.2.4). Czas znacznie większy (1÷4 h) przepisy różnych krajów dopuszczają w sieciach rozdzielczych. Rozwiązaniem dopuszczonym przez normę (p. 411.3.2.6), które pomaga rozwiązać nawet najtrudniejszy problem, są połączenia wyrównawcze miejscowe. Ogół wymagań dla najbardziej rozpowszechnionych instalacji o napięciu względem ziemi 230 V rekapitułuje tabl. 4.

Tablica 4. Zestawienie wymagań odnośnie do czasu samoczynnego wyłączenia zasilania w instalacjach prądu przemiennego o napięciu względem ziemi 230 V

Rodzaj obwodu	Układ TN	Układ TT	Układ IT
Obwody odbiorcze o prądzie znamionowym $I_n \leq 32$ A	0,4 s	0,2 s	0,4 s lub 0,2 s
Obwody odbiorcze o prądzie znamionowym $I_n > 32$ A	5 s	1 s	5 s lub 1 s
Obwody rozdzielcze o dowolnym prądzie znamionowym	5 s	1 s	5 s lub 1 s
Obwody sieci rozdzielczej zasilającej instalację oraz główny obwód zasilający budynku, który musi być wykonany z izolacją podwójną lub wzmocnioną	Samoczynne wyłączenie przez poprzedzający bezpiecznik o prądzie znamionowym I_{nf} Prąd wyłączający: $1,6I_{nf}$ (Niemcy), $2I_{nf}$ (Polska [13])		
Obwody, w których nie sposób uzyskać samoczynne wyłączenie zasilania w wymaganym czasie	Miejscowe połączenia wyrównawcze ochronne ograniczające długotrwałe utrzymujące się napięcie dotykowe na poziomie dopuszczalnym długotrwałe		

Samoczynne wyłączenie zasilania jest środkiem ochrony wymagającym ułożenia przewodu ochronnego w każdym obwodzie. Poza innymi warunkami stawianymi połączeniom ochronnym, jest i to elementarne wymaganie, że wszelkie części jednocześnie dostępne powinny być przyłączone do tego samego uziemienia (p. 411.3.1.1).

W instalacji przystosowanej do ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania wolno dla wybranych urządzeń odbiorczych bądź rozdzielczych zastosować ochronę w postaci izolacji podwójnej lub izolacji wzmocnionej (p. 411.1, UWAGA 1). Wolno też wprowadzając transformator separacyjny lub urządzenie równoważne zastosować separację obwodu pojedynczego odbiornika, a wprowadzając transformator bezpieczeństwa lub urządzenie równoważne utworzyć obwód SELV lub PELV.

5. Samoczynne wyłączenie zasilania w układzie TN

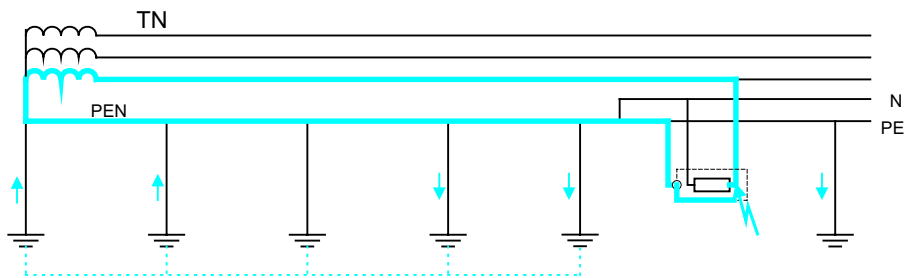
W układzie TN pętla zwarcia doziemnego L-PE, w następstwie uszkodzenia izolacji podstawowej, jest w całości złożona z przewodów elektroenergetycznych (rys. 6), dzięki czemu prąd przy takim zwarciu jest duży, na ogół wynosi $I_{k1min} \approx (0,5 \div 0,6)I_{k3}$, czyli 50÷60 % prądu zwarcia trójfazowego. Nawet w niekorzystnych warunkach

zasilania znacznie przekracza 115 A (impedancja pętli zwarciowej $Z_s < 2 \Omega$). To najbardziej wyrazista cecha układu TN, odróżniająca go od innych układów (TT oraz IT). Bezpośredni bądź pośredni pomiar prądu zwarcia L-PE (choćby poprzez pomiar impedancji pętli zwarciowej Z_s) jest najbardziej wiarygodnym sprawdzianem – ucinającym jałowe dyskusje – czy w konkretnej sytuacji ma się do czynienia z układem TN.

W poprawnie wykonanym układzie TN, z wielokrotnym uziemianiem przewodów ochronnych PE (PEN), znikoma część prądu zwarcia L-PE (nawet znacznie mniej niż 1 %) wraca do źródła poprzez uziemienia i ziemię (rys. 6). Nie wpływa to znacząco na wartość prądu w miejscu zwarcia ani na wynik pomiaru impedancji pętli zwarciowej Z_s , ale znacznie obniża wartości napięcia przewodów ochronnych PE (PEN) względem ziemi odniesienia i w następstwie – wartości napięć dotykowych. To m.in. dlatego w normach i przepisach są wymagania bądź zalecenia uziemiania przewodów ochronnych w możliwie licznych miejscach. W budynkach wysokich i wysokościowych podobny efekt uzyskuje się ponawiając co kilka kondygnacji połączenia wyrównawcze przewodu ochronnego z wszelkimi częściami przewodzącymi obcymi, łącznie ze zbrojeniem betonowych konstrukcji budowlanych (p. 411.4.2, UWAGA 1).

W układach TN-C bądź TN-C-S, zawierających przewód PEN, również w warunkach normalnych tor ziemnopowrotny może odgałęziać część prądu przewodu neutralnego, wynikającego z niesymetrii obciążenia i/lub ze zsumowania się harmonicznych potrójnej częstotliwości.

Dzięki temu, że prąd zwarcia L-PE w układzie TN jest duży, do samoczynnego wyłączenia zasilania mogą wystarczyć zabezpieczenia nadprądowe: wyłączniki nadprądowe lub bezpieczniki. To korzystna okoliczność, bo te zabezpieczenia są i tak nieodzowne w każdym obwodzie w celu ograniczenia cieplnych i elektrodynamicznych skutków zwarc. Przypisanie im dodatkowej funkcji na ogół nie pociąga za sobą dodatkowych kosztów.



Rys. 6. Pętla zwarcia L-PE w układzie TN w całości złożona z przewodów

Warunkiem skuteczności samoczynnego wyłączenia zasilania jest dostatecznie mała impedancja Z_s pętli zwarciowej L-PE. W obwodzie o napięciu względem ziemi U_o impedancja pętli zwarciowej Z_s powinna spełniać warunek:

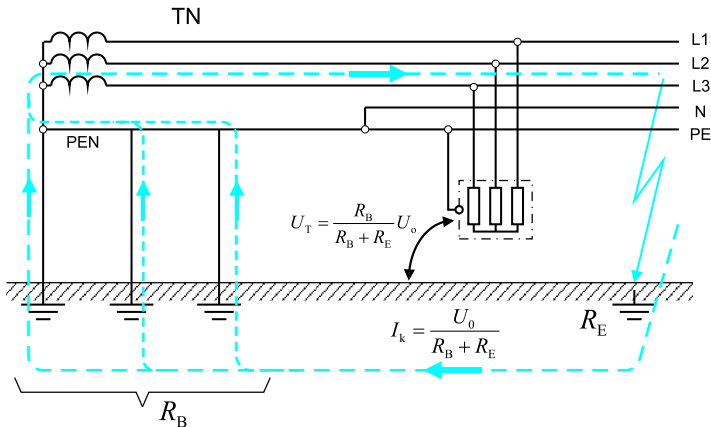
$$Z_s \leq \frac{U_o}{I_a}, \quad (5.1)$$

przy czym I_a jest prądem wyłączającym zabezpieczenia dokonującego samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie.

Jeżeli, ze względu na wymagania normy i/lub uznane zasady wiedzy technicznej, instaluje się w określonym obwodzie wyłącznik różnicowoprądowy, to jego prąd wyłączający $I_a = (1 \div 5)I_{\Delta n}$ jest tak mały, że wymaganie (5.1) jest samorzutnie spełnione. Oczywiście pod warunkiem, że jest zachowana ciągłość połączeń ochronnych.

W roli urządzeń dokonujących samoczynnego wyłączenia zasilania norma traktuje (p. 411.4.5) na równych prawach zabezpieczenia nadprądowe i zabezpieczenia różnicowoprądowe. Wystarczy, by jedno z tych zabezpieczeń spełniało warunek (5.1). Jeżeli w obwodzie są oba zabezpieczenia: nadprądowe i różnicowoprądowe, to **norma nie wymaga, by warunek (5.1) spełniało również zabezpieczenie nadprądowe**. Taką interpretację dobitnie potwierdza zapis w normie (p. 411.4.4, UWAGA). Natomiast błędnie bywa odczytywany inny zapis (p. 411.4.5, UWAGA 1), że zastosowanie RCD do ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) nie zwalnia z obowiązku umieszczenia w obwodzie również zabezpieczenia nadprądowego „zgodnie z IEC 60364-4-43”, czyli w celu zabezpieczenia przed cieplnymi skutkami zwarć i ewentualnie przeciążeń, a nie dla celów ochrony przeciwporażeniowej. Na dobrą sprawę ten zapis jest zbędny, bo przecież bez zabezpieczenia nadprądowego nie istnieje obwód instalacji elektrycznej (por. IEV 826-05-01).

Tyle norma. Nie zmienia to faktu, że układ TN jest jedynym układem, w którym bardziej niezawodne wyłączniki nadprądowe, a zwłaszcza bezpieczniki (aparaty *fail-safe*, bezpieczne w razie uszkodzenia), mogą – dla celów ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej – rezerwować znacznie bardziej zawodne wyłączniki różnicowoprądowe. Zatem odpowiedzialny projektant powinien upewnić się, że w razie uszkodzenia wyłącznika różnicowoprądowego zwarcie L-PE u końca obwodu w rozsądnym czasie (niekoniecznie w czasie 0,4 s) wyłączy zabezpieczenie nadprądowe; chodzi o zabezpieczenie rezerwowe, wobec czego można by dopuścić czas wyłączenia nawet 5 s.



Rys. 7. Skutki zwarcia przewodu skrajnego z ziemią (L-E) w układzie TN

Układ TN wymaga bezpośredniego uziemienia wybranego punktu uzwojeń źródła zasilania oraz wielokrotnych uziemień przewodu ochronnego wyprowadzonego z tego punktu. W najbardziej rozpowszechnionym trójfazowym układzie TN 230/400 V

uziemia się punkt neutralny, połączonego w gwiazdę lub w zygzak, uzwojenia wtórnego transformatora albo uzwojenia prądnic i wyprowadza się z tego punktu przewód PE (PEN) zamykający obwód prądu zwarcia doziemnego L-PE (L-PEN) w głębi sieci lub instalacji. Wielokrotne uziemienia tego przewodu pozwalają zmniejszyć wartości napięć względem ziemi odniesienia i złagodzić skutki ewentualnego przzerwania tego przewodu. Ustalenia krajowe określają wymagania co do rezystancji uziemienia przy stacji, np. nie więcej niż 5Ω [13], oraz co do rozmieszczenia i rezystancji dodatkowych uziemień w obrębie sieci.

Pewnym zagrożeniem w układzie TN może być **zwarcie przewodu skrajnego z ziemią**, z pominięciem przewodu ochronnego (rys. 7), kiedy prąd zwarcioowy w całości płynie torem ziemnopowrotnym, na co układ TN w zasadzie nie jest przygotowany. W obrębie całej galwanicznie połączonej sieci na częściach przewodzących dostępnych pojawia się wtedy napięcie względem ziemi odniesienia o wartości podanej na rys. 7. Aby nie przekraczało ono 50 V:

$$\frac{R_B}{R_B + R_E} U_o \leq 50 \text{ V} \quad (5.2)$$

powinien być spełniony warunek (p. 411.4.1):

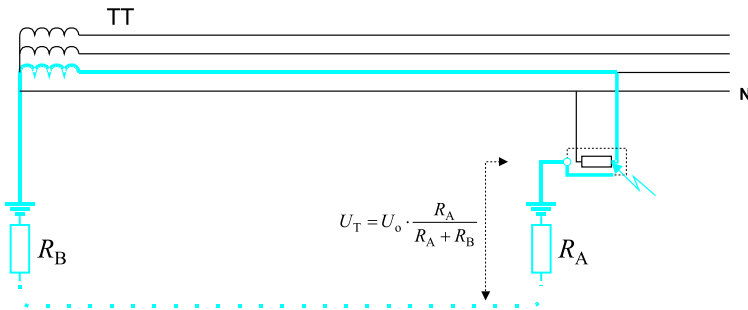
$$R_E \geq \frac{U_o - 50 \text{ V}}{50 \text{ V}} R_B \quad (5.3)$$

Oznacza to, że w zasięgu sieci rozdzielczej oraz instalacji odbiorczych wszelkie części przewodzące, o rezystancji uziemienia mniejszej niż wynikająca ze wzoru (5.3), powinny być połączone z przewodem ochronnym PE (PEN) układu TN. W przepisowo wykonanych instalacjach budynków ten warunek jest spełniony dzięki połączeniom wyrównawczym głównym. W obrębie sieci rozdzielczych napowietrznych 230/400 V o przewodach gołych przy zerwaniu i opadnięciu przewodu na ziemię rezystancja przejścia przewód-ziemia R_E [2] z pewnością spełnia warunek (5.3). Warunek ten jest przeto tym bardziej spełniony w razie zwarcia z ziemią w sieciach napowietrznych o przewodach izolowanych i w sieciach kablowych. Jedyne przypadki naprawdę groźne, których nie wolno przeoczyć, to linia napowietrzna przebiegająca nad uziomem naturalnym (metalowy zbiornik, rurociąg, konstrukcja metalowa) o rezystancji uziemienia nie spełniającej warunku (5.3). Należy albo ten uziom połączyć z przewodem PE (PEN) linii, albo zmienić trasę linii, albo skablować linię na odcinku skrzyżowania.

Układ TN wiąże przewodami PEN (PE) liczne uziomy w jeden rozległy układ uziomowy o małej rezystancji uziemienia, podczas gdy w klasycznym układzie TT uziomy te są rozproszone. Dzięki temu układ TN jest bardziej odporny na wszelkie narażenia pochodzące z zewnątrz: przepięcia atmosferyczne oraz skutki zwarcia w poprzedzającej sieci średniego napięcia. Jeśli do tego dodać możliwość rezerwowania wyłączników różnicowoprądowych w roli ochrony dodatkowej, oczywista staje się wyższość układu TN nad układem TT w obrębie sieci rozdzielczej i większości instalacji odbiorczych.

6. Samoczynne wyłączenie zasilania w układzie TT

Układ TT ma bezpośrednio uziemiony punkt neutralny źródła zasilania bądź inną część czynną. W razie uszkodzenia izolacji podstawowej w zasilanym urządzeniu, **pętla zwarcia doziemnego zamyka się przez ziemię** (rys. 8) i jest to cecha rozpoznawcza tego układu. Prąd wpływa do ziemi przez uziemienie bądź zespół uziemień przewodu ochronnego R_A i wraca przez jedyne uziemienie robocze układu R_B przy stacji zasilającej. W pętli zwarciowej są dwie szeregowo połączone rezystancje uziemienia ($R_A + R_B$), rezystancja pętli zwarciowej wynosi co najmniej kilka omów, wskutek czego prąd zwarciowy I_{k1min} w instalacji o napięciu $U_o = 230\text{ V}$ na ogół jest znacznie mniejszy niż 50 A.



Rys. 8. Napięcie dotykowe spodziewane U_T przy uszkodzeniu izolacji podstawowej w układzie TT

Jakie zabezpieczenia nadprądowe mają prąd wyłączający I_a nieprzekraczający 50 A i mogłyby być użyte jako urządzenia do samoczynnego wyłączania zasilania i to przy korzystaniu z odstępstwa pozwalającego przyjąć czas wyłączenia 0,4 s, jak w układzie TN? Z trudem można je wskazać: wkładki topikowe zwłoczne 6 A albo szybkie 10 A, wyłącznik nadprądowy instalacyjny B10. W jakich instalacjach to wystarcza? Widać, że do samoczynnego wyłączania zasilania w układzie TT nadają się tylko wyłączniki różnicowoprądowe (RCD). Zważywszy ich zawodność, RCD w obwodach odbiorczych powinny być poprzedzone RCD selektywnym w roli rezerwowego urządzenia wyłączającego. Norma nie zakazuje stosowania wyłączników ochronnych napięciowych (p. 411.5.2, UWAGA 2), ale nie zajmuje się nimi, nie formułuje żadnych zasad ich stosowania.

Zróznicowano kryteria skuteczności ochrony przez samoczynne wyłączanie zasilania w układzie TT. Jeżeli wyłączanie następuje za pomocą urządzenia różnicowoprądowego (o znamionowym różnicowym prądzie zadziałania $I_{\Delta n}$), to sprawdza się wartość napięcia dotykowego względem ziemi odniesienia. Obowiązuje (p. 411.5.3) dotychczasowy warunek dotyczący wymaganej rezystancji uziemienia przewodu ochronnego R_A :

$$R_A \leq \frac{50}{I_{\Delta n}} \quad (6.1)$$

W tym miejscu norma przeczy sama sobie i nie jest to błąd polskiego tłumaczenia, bo identyczne są teksty oryginalne, angielski i francuski. We wzorze 6.1 zamiast zna-

mionowego prądu różnicowego zadziałania $I_{\Delta n}$ powinien się znaleźć prąd wyłączający wyłącznika $I_a \geq I_{\Delta n}$, dobrany stosownie do wymaganego czasu wyłączenia (tabl. 3).

Natomiast jeżeli wyłączenia dokonuje zabezpieczenie nadprądowe (o prądzie wyłączającym I_a), to obowiązuje warunek dotyczący wymaganej impedancji pętli zwarciowej zwarcia doziemnego Z_s w instalacji o napięciu fazowym U_o :

$$Z_s \leq \frac{U_o}{I_a} \quad (6.2)$$

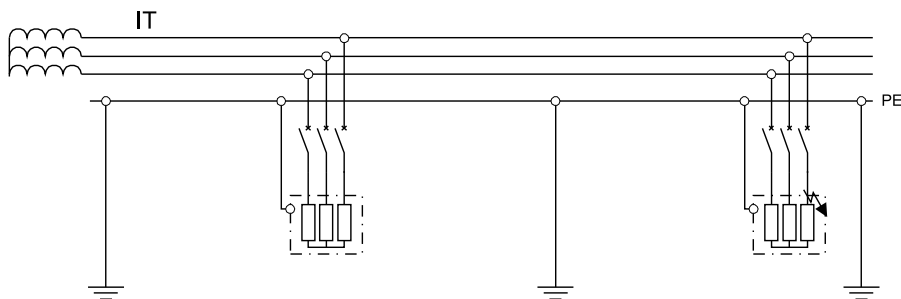
To drugie wymaganie jest wprawdzie nowością w normie, ale od dawna było wykorzystywane przy badaniu stanu ochrony, również w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi. Chodzi zwłaszcza o obiekty w bogato uzbrojonym terenie miejskim i/lub przemysłowym, gdzie poprawny pomiar rezystancji pojedynczego uziemienia jest niewykonalny. Zważywszy (rys. 8), że rezystancja uziemienia roboczego sieci R_B jest zwykle wielokrotnie mniejsza niż rezystancja uziemienia przewodu ochronnego R_A , uprawnione jest przybliżenie $Z_s \approx R_A$.

Jeżeli w układzie TT samoczynnego wyłączenia zasilania dokonują zabezpieczenia nadprądowe, a połączeniami wyrównawczymi głównymi są objęte wszelkie części przewodzące obce w zasięgu instalacji, to można przyjąć największy dopuszczalny czas wyłączenia, jak dla układu TN. Te połączenia wyrównawcze sprawiają, że człowiek nie jest narażony na działanie napięcia dotykowego względem ziemi odniesienia, jak na rys. 8, lecz na działanie wielokrotnie mniejszego napięcia dotykowego między częściami jednocześnie dostępnymi. Jest ono równe spadkowi napięcia, jaki prąd zwarcia doziemnego, nieduży w układzie TT, wywołuje na określonym odcinku przewodów ochronnych (od miejsca zwarcia do miejsca wykonania najbliższych połączeń wyrównawczych).

Norma milcząco akceptuje układy o bezpośrednim uziemieniu roboczym (TN i TT) również w urządzeniach prądu stałego, co wynika z zawartości tabl. 2 (Tablica 41.1 w normie). Dawniej przestrzegano przed pochopnym stosowaniem takich rozwiązań z obawy przed korozją elektrochemiczną uziomów, zwłaszcza w układzie TN. Obecnie większość układów stałoprądowych niskiego napięcia to niezbyt rozległe obwody w obrębie jednego budynku, zasilane z indywidualnych przekształtników, o metalicznej pętli zwarcia doziemnego: albo złożonej wyłącznie z przewodów (układ TN), albo z udziałem części przewodzących obcych (układ TT). Uszkodzenia w układzie stałoprądowym nie wywołują wtedy przepływu prądu stałego w miejscach styczności uziomów z gruntem.

7. Samoczynne wyłączenie zasilania w układzie IT

Układ IT, którego żadna część czynna nie jest uziemiona, cechuje się najmniejszym prądem zwarcia doziemnego I_d w razie uszkodzenia izolacji podstawowej. Obwód prądu I_d (rys. 9) zamyka się przez upływności, a w układzie prądu przemienno-prądowym również przez pojemności nieuszkodzonych faz względem ziemi i przewodu PE – w obrębie całej galwanicznie połączonej sieci. Wartość prądu jest bardzo mała i nie zależy od miejsca zwarcia, natomiast zależy od aktualnej konfiguracji sieci.



Rys. 9. Zwarcie doziemne L-PE w układzie IT

Do IT zalicza się również układy, których punkt neutralny (naturalny lub sztuczny) albo inna część czynna jest uziemiona przez dużą impedancję, np. rzędu 1000Ω w instalacji 230/400 V [14]. To uziemienie może mieć na celu zwiększenie wartości prądu zwarcia doziemnego I_d , aby ułatwić wykrycie i lokalizację uszkodzenia. Celem tego uziemienia może też być ustalenie potencjału uziemionego punktu układu względem ziemi, aby zapobiec oscylacjom napięcia bądź niekontrolowanemu wzrostowi napięcia przewodów względem ziemi. W układzie IT zasilanym przez transformator z sieci wysokiego napięcia jest pożądane uziemienie otwarte z bezpiecznikiem iskiernikowym w celu ograniczenia skutków zwarcia między uzwojeniami WN i nn.

Głównym celem wyboru układu IT na ogół jest **zwiększenie ciągłości zasilania** dzięki temu, że pojedyncze zwarcia doziemne, stanowiące ogromną większość wszelkich zwarć, nie muszą być wyłączane. Jest to możliwe, bo te zwarcia są małoprądowe, bez poważniejszych następstw. Drugim polem zastosowań są sytuacje, kiedy chodzi o **ograniczenie zagrożenia pożarowego i/lub wybuchowego** dzięki małej mocy cieplnej wydzielanej w miejscu zwarcia doziemnego. Z tych powodów układ IT stosuje się w kombinatach chemicznych, w podziemiach kopalń, na salach operacyjnych i oddziałach intensywnej nadzoru medycznego, a także na statkach i okrętach.

Pierwsze zwarcie doziemne, czy chociażby nadmierne obniżenie rezystancji izolacji doziemnej, łatwo może wykryć urządzenie do ciągłej kontroli stanu izolacji doziemnej IMD (tradycyjne polskie oznaczenie UKSI), będące zwykłym wyposażeniem takiej instalacji. Trudna jest natomiast lokalizacja miejsca uszkodzenia i jego wybiórcze wyłączenie. Tym niemniej pierwsze uszkodzenie powinno być szybko wykrywane, lokalizowane i usuwane przez obsługę, aby nie dopuścić do kolejnego uszkodzenia, które już wymaga wyłączenia co najmniej jednego z uszkodzonych obwodów. Każda część sieci oraz instalacji powinna być zatem stale dostępna dla obsługi, co praktycznie eliminuje układ IT z sieci rozdzielczej wspólnej i zasilanych z niej instalacji.

Po wystąpieniu pierwszego zwarcia doziemnego, części przewodzące dostępne o rezystancji uziemienia R_A mają względem ziemi odniesienia napięcie $I_d R_A$. Nie powinno (p. 411.6.2) ono przekraczać największego dopuszczalnego długotrwałe napięcia dotykowego:

$$I_d R_A \leq 50 \text{ V w układzie AC,} \quad (7.1)$$

$$I_d R_A \leq 120 \text{ V w układzie DC.} \quad (7.2)$$

To jest warunek skuteczności ochrony przy pierwszym zwarciu doziemnym. Obecność lub brak urządzenia monitorującego IMD (UKSI) ani jego stan nie mają tu nic do rzeczy. Nie jest bowiem urządzeniem zabezpieczającym ani urządzeniem ochronnym żadne z następujących urządzeń:

- urządzenie do ciągłej kontroli stanu izolacji doziemnej IMD (UKSI),
- urządzenie monitorujące różnicowoprądowe RCM,
- urządzenie do lokalizacji uszkodzeń izolacji doziemnej,

choć w określonych zastosowaniach są one wymagane bądź zalecane przez normy i inne uznane zasady wiedzy technicznej.

Drugie zwarcie doziemne, w innym przewodzie czynnym, wywołuje zwarcie dwumiejscowe. Pojawia się prąd o wartości groźnej ze względu na ciepłne narażenia instalacji oraz zagrożenie porażeniem ludzi i zwierząt hodowlanych. Powinno zatem dojść do samoczynnego wyłączenia zasilania przez właściwe zabezpieczenie o prądzie wyłączającym I_a .

Jeżeli pętla zwarcia dwumiejscowego zamyka się przez ziemię (części przewodzące dostępne są uziemione indywidualnie), to sytuacja jest podobna, jak w układzie TT przy pierwszym uszkodzeniu i do wyłączania w instalacji prądu przemiennego nadaje się raczej tylko wyłącznik różnicowoprądowy. Obowiązuje największy dopuszczalny czas wyłączania jak w układzie TT o tym samym napięciu względem ziemi. Powinien być spełniony warunek skuteczności ochrony:

$$I_a R_A \leq 50 \text{ V} \quad (7.3)$$

Jeżeli pętla zwarcia dwumiejscowego jest w całości złożona z przewodów (części przewodzące dostępne są uziemione zbiorowo), to sytuacja jest podobna, jak w układzie TN przy pierwszym uszkodzeniu i wyłączenia mogą dokonywać choćby zabezpieczenia nadprądowe. Obowiązuje największy dopuszczalny czas wyłączania jak w układzie TN o tym samym napięciu nominalnym. W każdym obwodzie układu AC bez przewodu neutralnego bądź układu DC bez przewodu środkowego powinien być spełniony następujący warunek skuteczności ochrony:

$$Z_s \leq \frac{U}{2I_a}, \quad (7.4)$$

a w każdym obwodzie układu AC z przewodem neutralnym bądź układu DC z przewodem środkowym:

$$Z'_s \leq \frac{U_o}{2I_a} \quad (7.5)$$

przy czym:

U – napięcie nominalne układu, między przewodami skrajnymi (liniowymi) [V],

U_o – napięcie między przewodem skrajnym a przewodem neutralnym lub środkowym [V],

Z_s – impedancja pętli zwarciorowej L-PE-L [Ω],

Z'_s – impedancja pętli zwarciorowej L-PE-N [Ω],

I_a – prąd wyłączający urządzenia zabezpieczającego [A].

8. Izolacja ochronna

Izolacja ochronna zapewnia ochronę przeciwporażeniową podstawową oraz ochronę dodatkową (ochronę przy uszkodzeniu). W izolację ochronną urządzenie może być wyposażone fabrycznie albo podczas montażu instalacji i w zależności od tego jest inaczej znakowane i nieco inaczej traktowane (rys. 10). Rozwiązanie konstrukcyjne izolacji ochronnej może mieć jedną z trzech następujących postaci albo może być ich kombinacją.

Izolacja podwójna

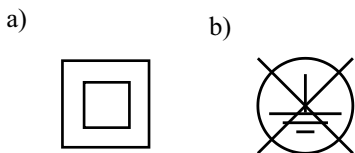
Między częściami czynnymi a częściami przewodzącymi dostępnymi są dwa niezależne układy izolacyjne: **izolacja podstawowa** oraz **izolacja dodatkowa**. Oba układy izolacyjne powinny być oddzielone od siebie częściami przewodzącymi pośrednimi, aby każdy z nich można zbadać z osobna, np. mierząc rezystancję izolacji lub sprawdzając wytrzymałość elektryczną izolacji. Urządzenie o izolacji podwójnej może mieć **części przewodzące dostępne** i ma **części przewodzące pośrednie**, ale nie wolno przyłączać przewodu ochronnego PE ani do jednych, ani do drugich. Przewód ochronny nie ma tu do spełnienia żadnej roli, a mógłby przenieść napięcie dotykowe z innego, uszkodzonego obwodu.

Izolacja wzmocniona

Izolacja wzmocniona polega na zastosowaniu pojedynczego układu izolacyjnego o własnościach elektrycznych i mechanicznych równoważnych izolacji podwójnej. Stosowanie izolacji wzmocnionej powinno być ograniczone do urządzeń bądź części urządzeń, wobec których izolacja podwójna jest praktycznie niewykonalna.

Ochronna obudowa izolacyjna

W urządzeniu przygotowanym do pracy wszelkie części czynne oraz części przewodzące, oddzielone od części czynnych tylko izolacją podstawową, powinny znajdować się w obudowie izolacyjnej zapewniającej stopień ochrony co najmniej IP2X lub IPXXB (p. 412.2.2.1). Obudowa powinna być trwale odporna na wszelkie narażenia elektryczne, mechaniczne, cieplne i inne występujące podczas pracy urządzenia oraz na możliwe narażenia środowiska pracy (tzw. wpływy zewnętrzne). Obudowa izolacyjna nie powinna zawierać żadnych śrub lub innych elementów mocujących z materiału izolacyjnego, które musiałyby lub mogłyby być zdejmowane podczas instalowania i eksploatacji, a których zastąpienie przez śruby lub inne elementy mocujące metalowe mogłoby naruszyć izolacyjność obudowy (rys. 11). Jeżeli przez obudowę izolacyjną muszą przechodzić ciągła lub wałki (np. rękojeści napędowe wbudowanych aparatów), to powinny one być tak wykonane (rys. 12), aby uszkodzenie izolacji podstawowej nie zagrażało porażeniem. Jeśli pokrywy lub drzwiczki obudowy izolacyjnej dają się otworzyć bez użycia narzędzia lub klucza, to wszelkie części przewodzące, które mogłyby być dostępne po ich otwarciu, powinny mieć izolacyjną osłonę o stopniu ochrony co najmniej IP2X lub IPXXB. Zdjęcie tej osłony nie powinno być możliwe bez użycia narzędzia lub klucza.

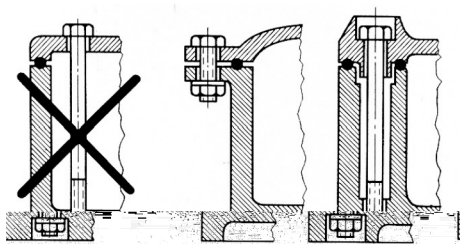


Rys. 10. Oznakowanie urządzenia wyposażonego w izolację ochronną: a) fabrycznie (klasa ochronności II); b) podczas montażu instalacji (wykonanie równoważne klasie ochronności II)

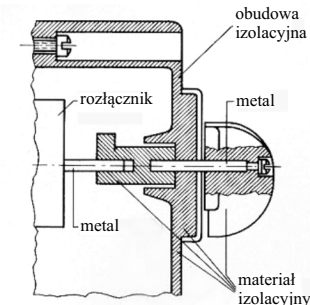
Do części przewodzących, które są dostępne po otwarciu lub usunięciu obudowy izolacyjnej, nie wolno przyłączać przewodu ochronnego PE. Ten zakaz zawsze obowiązywał, ale w Polsce jest nagminnie łamany przez pseudoelektryków opacznie pojmujących zasady ochrony. Widuje się na przykład złącza w ochronnej obudowie izolacyjnej, oznakowane podwójnym kwadratem, wewnątrz których do metalowych wsporników aparatury jest przyłączony przewód ochronny. Kto to uczynił, ten samowolnie i nierozumnie zmienił klasę ochronności złącza z klasy II na klasę I.

Jeżeli przez urządzenie znajdujące się w ochronnej obudowie izolacyjnej przechodzi obwód zawierający przewód ochronny PE, to we wnętrzu obudowy przewód ochronny PE i jego zacisk powinny być izolowane jak części czynne.

Zaostrzono wymagania odnośnie do przewodów zasilających urządzenia o izolacji ochronnej (p. 412.2.4). Ich izolacja podstawowa powinna być chroniona od uszkodzeń mechanicznych przez niemetalowe składniki oprzewodowania: integralne warstwy ochronne przewodu lub listwy albo rury ochronne.



Rys. 11. Niedozwolone i dopuszczalne przejścia śrub metalowych przez ochronną obudowę izolacyjną



Rys. 12. Izolacyjność pokręta napędowego rozłącznika w ochronnej obudowie izolacyjnej

Jeżeli izolacja ochronna ma być jedynym środkiem ochrony dodatkowej, tj. obwód lub część instalacji ma zawierać tylko wyposażenie o izolacji ochronnej, to ten obwód lub część instalacji powinny być pod stałym fachowym nadzorem wykluczającym przeróbki osłabiające skuteczność ochrony, co można zagwarantować tylko w warunkach przemysłowych. Norma [11] nie wyjaśnia, jak rozumieć *stały nadzór*. Interpretacja normalizatorów niemieckich [1] pojęcia *ständige Überwachung* jest następująca: chodzi o wykrywanie usterek i ich bezzwłoczne usunięcie zanim dojdzie do wypadku, a więc w odstępach czasu co najmniej kilkakrotnie krótszych niż zwykle przepisane kontrole stanu technicznego urządzeń, w miarę możliwości wspomaganie monitorowaniem stanu izolacji (IMD) lub prądu różnicowego (RCM). W takich i tylko

w takich warunkach dopuszcza się, aby obwody zasilające urządzenia klasy ochronności II nie miały przewodu ochronnego PE.

W przeciwnym razie obwody zawierające i zasilające wyłącznie urządzenia o izolacji ochronnej powinny być zaprojektowane i wykonane przy założeniu, że podczas eksploatacji – bez stałego nadzoru – dowolne z tych urządzeń i w dowolnej chwili może być wymienione na urządzenie klasy ochronności I. Wobec tego we wszystkich obwodach:

- powinien być ułożony przewód ochronny PE na całej długości przewodowania i wprowadzony (bez przyłączania!) do wnętrza urządzeń w nadziei, że kiedyś – w razie instalowania urządzenia klasy ochronności I – elektryk to zauważy i potrafi wykorzystać,
- powinien być spełniony warunek samoczynnego wyłączenia zasilania.

Warto dodać, że w takich instalacjach (o układzie TN i TT) – nawet bez przewodu ochronnego PE – wyłączniki różnicowoprądowe wysokoczułe mogą bez przeszkód pełnić rolę ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej.

9. Bardzo niskie napięcie ze źródła bezpiecznego – obwód SELV oraz obwód PELV

Jest to szczególnie niezawodny, ale i kosztowny środek ochrony, który polega na tym, że wybrane urządzenia są zasilane:

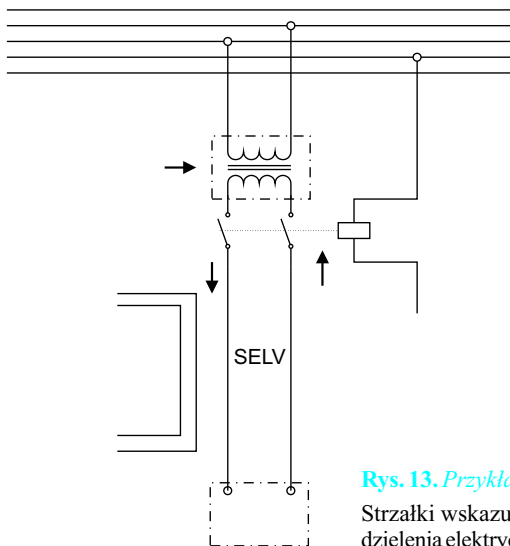
- napięciem bardzo niskim, nie wyższym niż 50 V AC lub 120 V DC, czyli napięciem uważanym za napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale w przewidywanych warunkach środowiskowych,
- napięciem pochodzącym ze źródła bezpiecznego: transformatora bezpieczeństwa, przetwornicy bezpieczeństwa, prądnicy napędzanej silnikiem nieelektrycznym, ogniwa galwanicznego, baterii akumulatorów o odpowiednio przyłączonej ładownicy albo zasilacza elektronicznego odpowiedniej konstrukcji (p. 414.3.4),
- z obwodu SELV (*safety extra-low voltage*) lub obwodu PELV (*protection extra-low voltage*), który ma **ochronne oddzielenie elektryczne** od wszelkich innych obwodów, a obwód SELV – ma ponadto **zwykłe oddzielenie elektryczne** (izolacją podstawową) od ziemi.

Mimo iż napięcie robocze jest bardzo niskie, wymaga się stosowania ochrony podstawowej, jeżeli przekracza ono 25 V AC lub 60 V DC, a także w warunkach ekstremalnego zagrożenia (skóra mokra, człowiek zanurzony w wodzie).

Przewody obwodu SELV i obwodu PELV należy układać oddzielnie od przewodów wszelkich innych obwodów (oddzielenie przestrzenne), a jeśli nie można uniknąć zbliżenia, to obowiązują zaostrzone wymagania co do ich ochronnego oddzielenia elektrycznego (poza izolacją podstawową osłona izolacyjna lub uziemiona osłona metalowa, lub uziemiony ekran metalowy). Podobne wymagania obowiązują w odniesieniu do konstrukcji łączników i innych aparatów, w których elementy obwodu SELV lub PELV powinny mieć ochronne oddzielenie elektryczne od elementów innych obwodów (rys. 13).

Od obwodu SELV obwód PELV różni się tym, że ma uziemioną część czynną i/lub części przewodzące dostępne. Rozwiązaniem zalecanym jest obwód SELV; obwód PELV powinien być stosowany tylko wtedy, gdy uziemienie robocze jest nieodzwonne

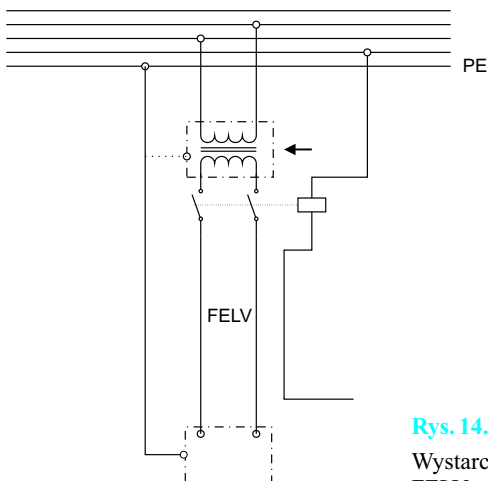
(np. dla celów ochrony przeciwzakłóceńowej) lub nieuniknione (np. obwód zawiera czujnik pomiarowy nieuchronnie uziemiony).



Rys. 13. Przykładowy obwód SELV

Strzałki wskazują miejsca wymaganego ochronnego oddzielenia elektrycznego obwodu SELV od innych obwodów

Ruchome źródła zasilania bezpieczne powinny mieć izolację podwójną lub izolację wzmocnioną, lub ochronną obudowę izolacyjną. Wtyczki obwodów SELV i PELV nie powinny pasować do gniazd innych obwodów, a do gniazd obwodów SELV i PELV nie powinny pasować wtyczki urządzeń innych niż urządzenia klasy ochronności III.



Rys. 14. Przykładowy obwód FELV

Wystarczy zwykle oddzielenie elektryczne obwodu FELV od innych obwodów

Jeżeli chociażby jedno z wymagań stawianych obwodom SELV lub PELV nie może być spełnione, a napięcie bardzo niskie ELV (nie większe niż 50 V AC lub 120 V DC) jest niezbędne ze względów funkcjonalnych, ale nie jest konieczne ze względu na ochronę przeciwporażeniową, to obwód można zakwalifikować jako obwód FELV (*functional extra-low voltage*).

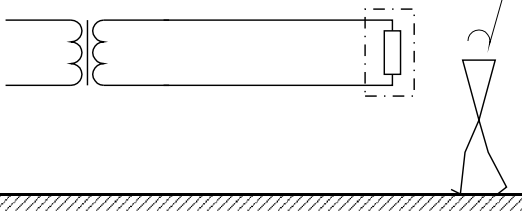
Dawniejsze normy nie wymagały oddzielenia elektrycznego obwodu FELV od obwodu zasilającego o wyższym napięciu; obwód FELV mógł być zasilany z autotransformatora lub rezystancyjnego dzielnika napięcia. Nowsze normy wymagają zwykłego oddzielenia elektrycznego, wystarcza zwykły transformator oddzielający LV/ELV, niekoniecznie transformator bezpieczeństwa.

Części przewodzące dostępne obwodu FELV obejmuje się ochroną dodatkową w sposób identyczny jak podobne części w obwodzie pierwotnym (rys. 14). Zwykle jest to samoczynne wyłączenie zasilania. Przy projektowaniu, a następnie przy sprawdzaniu stanu ochrony, skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania sprawdza się przy założeniu zwarcia między obwodem pierwotnym a obwodem wtórnym źródła zasilania.

10. Separacja ochronna

Obwód pojedynczego odbiornika o napięciu znamionowym wyższym niż napięcie bardzo niskie ELV, ale nieprzekraczającym 500 V, zasilany jest w jeden z następujących sposobów:

- z transformatora lub z przetwornicy, których obwód wyjściowy ma zwykle (!) oddzielenie elektryczne [11] od obwodu wejściowego,
- z prądnicy napędzanej silnikiem nieelektrycznym.



Rys. 15. Ochrona przez separację obwodu pojedynczego odbiornika

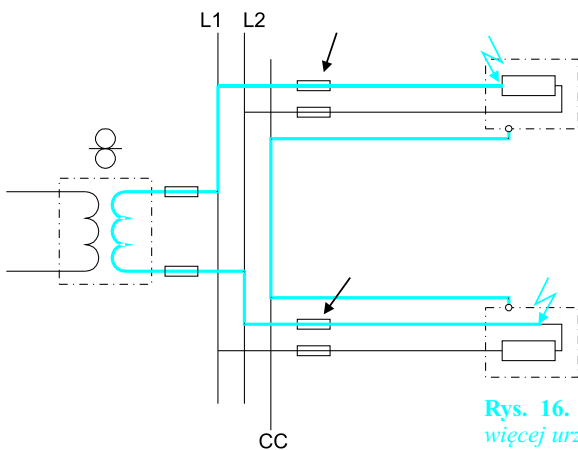
W razie uszkodzenia izolacji podstawowej (rys. 15) nie płynie wyczuwalny prąd rażeniowy, bo nie ma dlań drogi powrotnej. Gdyby taka droga się znalazła, ochrona przestaje działać i dlatego:

- obwodu wtórnego nie należy uziemiać ani łączyć z jakimkolwiek innym obwodem,
- obwód wtórny należy tak wykonać, aby ograniczyć w nim możliwość zwarcia doziemnych.

Separacja przydaje się wówczas, gdy urządzenia ręczne dostępne tylko na napięciu 230 V lub 400 V mają być użytkowane w warunkach szczególnego zagrożenia porażeniem. Zasilany jest ten sposób urządzenia na placu budowy, na pochylni stoczniowej, przy pracach w metalowych zbiornikach i rurociągach, również ogrzewanie zwrotnic, chodników, podjazdów i rynien ściekowych. Małe transformatory

separacyjne znajdują się w gniazdach wtyczkowych do gółek elektrycznych w łazienkach.

Nowa norma wprowadza tu zamieszanie, bo wymaga tylko zwykłego – a nie ochronnego – oddzielenia elektrycznego w źródle zasilania. W zgodzie z normą wolno użyć **zwykłego transformatora oddzielającego** ogólnego zastosowania [18], czyli transformatora o osobnych uzwojeniach pierwotnych i wtórnych oddzielonych tylko izolacją podstawową. Nie jest już wymagany **transformator separacyjny** [19], będący odmianą transformatora ochronnego o ochronnym oddzieleniu elektrycznym uzwojeń pierwotnego od wtórnego. Dokument Harmonizacyjny HD 60364-4-41 (pierwowzór normy [11]), grupową normę bezpieczeństwa rażeniowego, CENELEC przyjął w roku 2007, a normę przedmiotową EN 61558-2-4 (pierwowzór normy [19]) dla transformatorów separacyjnych o ochronnym oddzieleniu elektrycznym uzwojeń – dwa lata później, w roku 2009. Gdzie tu logika? Formalistów warto przestrzec przed nieroztropnie dosłownym odczytywaniem zapisów normy, bo za parę lat pewnie ktoś się ocknie w IEC i/lub w CENELEC, co już wielokrotnie się zdarzało. Chociażby w temacie separacji: powszechne dopuszczenie separacji obwodu wielu odbiorników było przejściowym epizodem, który norma [11] zniósła.



Rys. 16. Separacja ochronna dwóch lub więcej urządzeń – wymagane nieziemione połączenia wyrównawcze miejscowe

Tylko w instalacjach pod fachowym nadzorem dopuszcza się zasilanie więcej niż jednego odbiornika z pojedynczego transformatora separacyjnego lub przetwornicy separacyjnej. Pierwsze zwarcie doziemne nie ujawnia się, a kiedy wystąpi drugie w innym biegunie, wtedy łatwo o porażenie. Aby do niego nie dopuścić, wymagane są nieziemione połączenia wyrównawcze miejscowe między częściami przewodzącymi dostępnymi wszelkich urządzeń (rys. 16). Te połączenia:

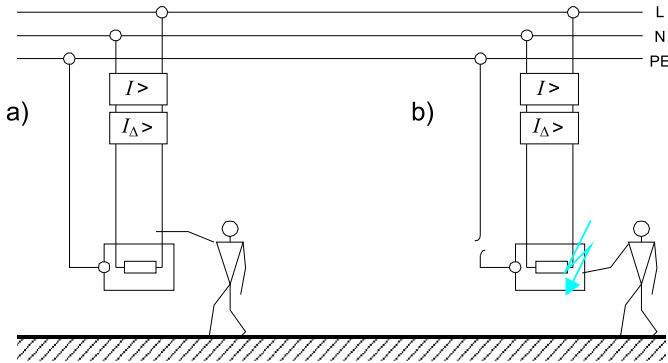
- nie dopuszczają do wyczuwalnej różnicy potencjałów między częściami jednocześnie dostępnymi,
- sprawiają, że drugie uszkodzenie izolacji wywołuje zwarcie wieloprądowe, wyłączane przez zabezpieczenia nadprądowe.

11. Ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca

W określonych warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem norma wymaga stosowania trzeciego stopnia ochrony – ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej. Stanowi ona częściową redundancję w stosunku do ochrony podstawowej i/lub ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu).

Wyłączniki różnicowoprądowe wysokoczułe

Wyłączniki różnicowoprądowe wysokoczułe, o znamionowym prądzie różnicowym zadziałania $I_{\Delta n}$ nieprzekraczającym 30 mA, stanowią **uzupełnienie ochrony podstawowej** w obwodach prądu przemiennego. Mogą uratować życie, kiedy ochrona podstawowa zostanie ominięta lub zawiedzie, a ochrona dodatkowa nie zapobiega porażeniu.



Rys. 17. Ochrona uzupełniająca zapobiegająca groźnemu porażeniu przy: a) ominięciu ochrony podstawowej; b) uszkodzeniu izolacji przy jednoczesnym przerwananiu przewodu ochronnego PE

Jeśli w chronionym obwodzie człowiek dotyka części czynnej (rys. 17), to płynie prąd rażeniowy o wartości wynikającej z parametrów obwodu rażeniowego, a niezależnej od czułości wyłącznika. Albo ten prąd przekracza prąd zadziałania wyłącznika i następuje samoczynne wyłączenie zasilania, albo nie przekracza i może płynąć długo, ale przecież nie wywołuje on:

- ani migotania komórek serca w przypadku dowolnego wyłącznika wysokoczułego ($I_{\Delta n} \leq 30$ mA),
- ani nawet skurczu mięśni ręki, uniemożliwiającego samouwolnienie, w przypadku wyłączników 6 i 10 mA, których stosowania norma nie wymaga.

Ten sam wyłącznik różnicowoprądowy wysokoczuły może być wykorzystany dla celów ochrony dodatkowej oraz dla celów ochrony uzupełniającej. Nie ma potrzeby stosowania dwóch osobnych aparatów (takie wymagania pojawiały się w niektórych obcych normach bądź przepisach). Jeżeli wyłącznik różnicowoprądowy wysokoczuły służy tylko do ochrony uzupełniającej, to – formalnie biorąc – nie dotyczą go wymagania tabl. 2 co do największego dopuszczalnego czasu samoczynnego wyłączenia zasilania; wystarczy, aby wyłącznik spełniał w tym zakresie wymagania normy produktowej.

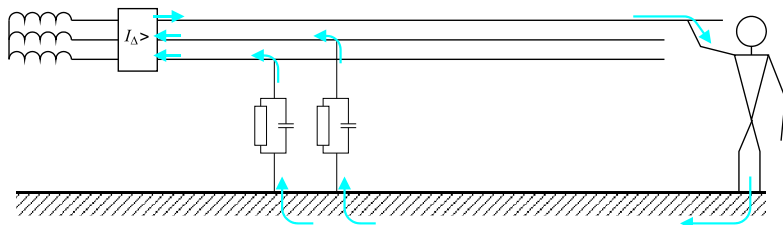
Wyłącznik różnicowoprądowy w roli ochrony uzupełniającej wyzwała dopiero w wyniku przepływu prądu przez ciało człowieka, natomiast w roli ochrony dodatkowej wyzwała natychmiast po wystąpieniu uszkodzenia izolacji.

Jeśli w jakichkolwiek warunkach norma wymaga stosowania wyłącznika różnicowoprądowego wysokoczułego, to znaczy, że wymaga w tych warunkach ochrony uzupełniającej na wypadek dotknięcia przez człowieka części czynnej niebezpiecznej. Wymaga niejako uzupełnienia ochrony podstawowej. Dotyczy to następujących sytuacji:

- 1) urządzenia ruchome o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A przeznaczone do używania na wolnym powietrzu,
- 2) inne urządzenia użytkowane w warunkach szczególnego zagrożenia (arkusze 700 normy 60364),
- 3) obwody gniazd wtyczkowych powszechnego użytku, o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 20 A, przeznaczone do używania przez laików.

Od ostatniego wymagania wprawdzie wolno odstąpić w przypadku gniazd wtyczkowych będących pod nadzorem osób wykwalifikowanych albo osób poinstruowanych, np. w obiektach handlowych lub przemysłowych, ale lepiej tego odstępstwa nie nadużywać.

Skuteczność wyłącznika różnicowoprądowego wysokoczułego w roli ochrony uzupełniającej nie ma związku z obecnością ani stanem przewodu ochronnego PE. Urządzenia klasy ochronności II, w tym narzędzia ręczne bez żyły ochronnej w przewodzie zasilającym, mogą być na równi z innymi objęte ochroną uzupełniająca. Jest to wręcz wymagane w warunkach ekstremalnego zagrożenia porażeniem, np. w ograniczonych przestrzeniach przewodzących (arkusz 60364-7-706).



Rys. 18. Przykład nieskuteczności ochrony uzupełniającej w układzie IT

Norma nie wspomina, że w układzie IT ochrona uzupełniająca stoi pod wielkim znakiem zapytania; nie można jej zagwarantować. Dotyczy to sytuacji, kiedy znacząca część prądu rażeniowego wraca do źródła zasilania przez wyłącznik różnicowoprądowy, któremu naiwnie przypisuje się funkcję ochronną (rys. 18).

Miejscowe połączenia wyrównawcze ochronne

Połączenia wyrównawcze stanowią **uzupełnienie ochrony dodatkowej** (ochrony przy uszkodzeniu), zwłaszcza w odniesieniu do urządzeń elektrycznych klasy ochronności I. Polegają na połączeniu ze sobą wszelkich części przewodzących dostępnych i części przewodzących obcych, które człowiek może jednocześnie dotknąć, w celu wyrównania ich potencjału.

Połączenia wyrównawcze miejscowe są wymagane w pomieszczeniach kąpielowych (z wanną lub natryskiem), w saunach, przy zelektryfikowanych basenach i fontannach, w kotłowniach i pompowniach, w pomieszczeniach hodowlanych i podobnych miejscach mokrych bądź wilgotnych, gdzie są jednocześnie dostępne różne części przewodzące (arkusze 700 normy 60364). Można je wykonywać również bez użycia miejscowej szyny wyrównawczej. Jeśli miejscowa szyna wyrównawcza jest, to nie wymaga się, aby każda ze wspomnianych części była do niej przyłączona osobnym przewodem.

W sytuacjach, kiedy dotrzymanie wymaganego czasu samoczynnego wyłączenia zasilania nie jest możliwe, połączenia wyrównawcze miejscowe mogą okazać się prostym sposobem obniżenia spodziewanego napięcia dotykowego poniżej wartości dopuszczalnej długotrwale. Wprawdzie nie dochodzi do samoczynnego wyłączenia w wymaganym czasie, ale utrzymujące się napięcie dotykowe nie przekracza wartości dopuszczalnej długotrwale. Napięciem dotykowym jest wtedy spadek napięcia, jaki prąd wyłączający I_a zabezpieczenia obwodu wywołuje na rezystancji przewodu ochronnego PE od punktu obliczeniowego do miejsca najbliższego połączenia wyrównawczego.

12. Literatura

1. Hörmann W.: Neue Norm zum Schutz gegen elektrischen Schlag. Elektropraktiker, 2007, nr 9.
2. Musiał E.: Zwarcie faza-ziemia w układzie TN. Biul. SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2001, nr 42, s. 12-15; www.edwardmusial.info/pliki/zwar_1_0.pdf
3. Erläuterungen zum Konzept der DIN VDE 0100-410:2007-06 sowie zur Anwendung der Schutzmaßnahme „Automatische Abschaltung der Stromversorgung“. Elektropraktiker, 2008, nr 4.
4. IEC Guide 104:1997 The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications.
5. IEC/C/1601/DV:2009 Revised IEC Guide 104 Edition 4: The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications.
6. ISO/IEC Guide 51:1999 Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards.
7. PN-EN 60529:2003 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (Kod IP).
8. PN-EN 60664 Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia. Norma wieloarkuszowa.
9. PN-EN 61140:2005 Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń.
10. PN-IEC 60364-4-41:2000 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przeciwporażeniowa.
11. PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
12. PN-HD 60364-5-54:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Uziemienia, przewody ochronne i przewody połączeń ochronnych.
13. N SEP-E-001:2003 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa.
14. NF C15 100:2002 Installations électriques à basse tension.
15. IEC 62423:2007 Type B residual current operated circuit-breakers with and without integral overcurrent protection for household and similar uses (Type B RCCBs and Type B RCBs).
16. IEC/TR 60755:2008 General requirements for residual current operated protective devices.
17. PN-E-05115:2002 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
18. PN-EN 61558-2-1:2010 Bezpieczeństwo użytkowania transformatorów, zasilaczy, dławików i podobnych urządzeń – Część 2-1: Wymagania szczegółowe i badania dotyczące transformatorów oddzielających i zasilaczy z transformatorami oddzielającymi do ogólnego stosowania.
19. PN-EN 61558-2-4:2009 Bezpieczeństwo użytkowania transformatorów, zasilaczy, dławików i podobnych urządzeń o napięciach zasilających do 1100 V – Część 2-4: Wymagania szczegółowe i badania dotyczące transformatorów separacyjnych i zasilaczy z transformatorami separacyjnymi (oryg.).

Errata do polskiej wersji tekstu normy

PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym

Miejsce	Jest	Powinno być
s. 4, p. 410 wiersz 3 od góry	dla ochrony ludzi i zwierząt	dla ochrony ludzi i zwierząt hodowlanych
s. 4, p. 410 wiersz 3-5 od góry	EN 61140 jest przeznaczona do zapewnienia podstawowych zasad i wymagań, które są wspólne dla instalacji i urządzeń elektrycznych lub są niezbędne do ich koordynacji.	EN 61140 formułuje podstawowe zasady i wymagania wspólne dla instalacji i urządzeń elektrycznych lub niezbędne do ich koordynacji.
s. 4, p. 410 wiersz 8 od góry	ani w warunkach pojedynczych uszkodzeń.	ani w warunkach pojedynczego uszkodzenia.
s. 4, p. 410 wiersz 12 od góry	wzmocniony środek ochrony,	środek ochrony wzmocnionej,
s. 5, p. 410.3.1	410.3.1 W niniejszej normie, jeżeli nie ustalono inaczej, ma zastosowanie następujący zestaw napięć: – napięcie przemiennie a.c. mierzone w wartościach skutecznych (r.m.s) – napięcie stałe d.c. wolne od tętnień Pojęcie „wolne od tętnień” oznacza umowne napięcie tętnień o wartości skutecznej nieprzekraczającej 10 % składowej d.c.	410.3.1 W niniejszej normie, jeżeli nie podano inaczej, napięcia należy rozumieć następująco: – napięcia przemiennie a.c. określa się wartością skuteczną (r.m.s); – napięcia stałe d.c. mają pomijalne tętnienie. „Pomijalne tętnienie” oznacza, że wartość skuteczna składowej przemiennnej nie przekracza 10 % składowej stałej.
s. 6, p. 410.3.2 ostatni wiersz	UWAGA 2 Przykładem wzmocnionego środka ochrony jest izolacja wzmocniona.	UWAGA 2 Przykładem środka ochrony wzmocnionej jest izolacja wzmocniona.
s. 6, p. 410.3.6 ostatni wiersz	... , że nieautoryzowane zmiany nie mogą być dokonywane.	... , że nie mogą być dokonywane niedozwolone zmiany.

s. 7, p. 410.3.9 drugie wyliczenie	– części przewodzące dostępne, ze względu na ich niewielkie rozmiary (w przybliżeniu 50 mm × 50 mm) lub ze względu na ich właściwości (cechy), nie mogą być uchwycone lub nie może dojść do znaczącego zetknięcia ich z częścią ciała człowieka i pod warunkiem, że połączenie z przewodem ochronnym mogłoby tylko być trudne do wykonania lub być zawodne.	– części przewodzące dostępne o małych wymiarach (do około 50 mm × 50 mm) albo tak umieszczone, że człowiek nie może ich uchwycić, ani zetknąć się z nimi większą powierzchnią ciała, a przyłączenie przewodu ochronnego byłoby trudne lub nie zapewniałoby niezawodnego połączenia.
s. 7, p. 410.3.9 drugie wyliczenie	UWAGA Te wyjątki dotyczą np. zasuwek,...	UWAGA Te wyjątki dotyczą np. śrub,...
s. 7, p. 411.2	Całe urządzenie elektryczne powinno być zgodne z jednym ze sposobów zabezpieczeń dla ochrony podstawowej...	W każdym urządzeniu elektrycznym powinien być wprowadzony jeden ze środków ochrony podstawowej...
s. 7, p. 411.3.1.1 1. akapit	Części przewodzące dostępne powinny być przyłączone do przewodu ochronnego przy określonych warunkach dla każdego typu systemu uziemienia,...	Części przewodzące dostępne powinny być połączone z przewodem ochronnym w sposób właściwy dla każdego układu sieci,...
s. 8, p. 411.3.1.2 1. wyliczenie	– metalowe rury zasilające instalacje wewnętrzne budynku,...	– metalowe rury instalacji wewnętrznych budynku,...
s. 8, p. 411.3.1.2 2. wyliczenie	– konstrukcyjne obce części przewodzące,...	– części przewodzące obce konstrukcji budynku,...
s. 8, p. 411.3.1.2 3. wyliczenie	– metalowe wzmocnienia konstrukcji z betonu zbrojonego, gdzie zbrojenie jest dostępne i ochronnie połączone między sobą.	– metalowe zbrojenie konstrukcji betonowych, jeżeli jest dostępne i niezawodnie połączone między sobą.
s. 9, p. 411.3.2.5 wiersz 3-4 od góry	... napięcie źródła zostanie obniżone... do wartości co najmniej 50 V a.c. lub 120 d.c.	... napięcie źródła zostanie obniżone... do wartości nieprzekraczającej 50 V a.c. lub 120 V d.c.
s. 9, p. 411.3.2.6	... w czasie uznanym – zgodnie z 411.3.2.2, 411.3.2.3 lub 411.3.2.4 – za właściwy, to...	... w czasie wymaganym odpowiednio w 411.3.2.2, 411.3.2.3 lub 411.3.2.4, to...

s. 9, p. 411.4.2 UWAGA 1, 1. zdanie	Jeżeli istnieją inne skuteczne połączenia z ziemią, zaleca się łączenie przewodów ochronnych z ziemią wszędzie tam, gdzie jest to możliwe.	Jeżeli są dostępne inne skuteczne uziemienia, to zaleca się uziemiać przewody ochronne wszędzie tam, gdzie jest to możliwe.
s. 9, p. 411.4.2 UWAGA 1, 2. zdanie	Uziemienie w dodatkowych punktach rozmieszczonych, jeśli jest to możliwe równomiernie, może być niezbędne dla zapewnienia, aby potencjał przewodów ochronnych, w przypadku zwarcia, był bliski potencjałowi ziemi, tak jak to tylko możliwe.	Dodatkowe uziemienia rozmieszczone możliwe równomiernie mogą być niezbędne, aby w razie uszkodzenia potencjał przewodów ochronnych był możliwie zbliżony do potencjału ziemi.
s. 9, p. 411.4.2 UWAGA 2	Zaleca się, aby przewody ochronne (PE i PEN) były uziemione w miejscu wprowadzenia ich do każdego z budynków lub obiektów z uwzględnieniem wszelkich zmian kierunku prądów w przewodzie neutralnym.	Zaleca się uziemianie przewodów ochronnych (PE i PEN) w miejscu wprowadzenia ich do budynku lub posesji z uwzględnieniem możliwości przepływu przez uziom części prądu przewodu neutralnego.
s. 10, p. 411.4.3	W przewodzie PEN nie mogą być umieszczone wyłącznik lub urządzenie izolujące.	W przewodzie PEN nie należy umieszczać żadnych urządzeń do odłączania izolacyjnego ani do łączenia.
s. 10, p. 411.4.4	Charakterystyki urządzeń ochronnych...	Parametry urządzeń zabezpieczających...
s.10, p. 411.4.5 UWAGA 2	Jeżeli konieczne jest zróżnicowanie pomiędzy urządzeniami RCD,...	Jeżeli konieczna jest selektywność pomiędzy urządzeniami RCD,...
s.11, p. 411.5.2 UWAGA 2	Stosowanie urządzeń ochronnych sterowanych napięciem uszkodzeniowym nie jest objęte tą normą.	Stosowanie wyłączników ochronnych napięciowych nie wchodzi w zakres niniejszej normy.
s.11, p. 411.5.3 UWAGA 2	Jeżeli jest konieczne rozróżnienie działania między poszczególnymi urządzeniami RCD,...	Jeżeli konieczna jest selektywność pomiędzy urządzeniami RCD,...
s. 11/12, p. 411.6.1 2. akapit 1. zdanie	W przypadku pojedynczego zwarcia z częścią przewodzącą dostępną prąd uszkodzeniowy jest mały i samoczynne wyłączenie zgodnie z 411.3.2 nie jest bezwzględnie wymagane pod warunkiem, że jest spełnione wymaganie 411.6.2.	Przy pojedynczym zwarcia z częścią przewodzącą dostępną lub z ziemią prąd uszkodzeniowy jest mały i samoczynne wyłączenie zgodnie z 411.3.2 nie jest niezbędne, jeśli jest spełniony warunek 411.6.2.

s. 12, p. 411.6.1 UWAGA	Aby obniżyć wzrost napięcia lub zmniejszyć oscylację napięcia, może okazać się niezbędnym uziemienie przez impedancję lub sztuczny punkt neutralny o impedancji dostosowanej do wymagań dla instalacji.	W celu ograniczenia przepięć lub tłumienia oscylacji napięcia może być niezbędne uziemienie przez impedancję albo przez sztuczne punkty neutralne; ich parametry zaleca się dostosować do parametrów instalacji.
s. 12, p. 411.6.2	Powinny być spełnione następujące warunki:	Powinien być spełniony następujący warunek:
s. 12, p. 411.6.3 2. wyczerpiecie	– urządzenia monitorowania prądu różnicowego (RCM)	– urządzenia monitorujące różnicowoprądowe (RCM); – <i>jak w normie PN-EN 62020:2005</i>
s. 12, p. 411.6.3.1	... urządzenie monitorujące izolację...	... urządzenie ciągłej kontroli stanu izolacji...
s. 12, p. 411.6.3.2 1. zdanie	Z wyjątkiem przypadków, gdzie urządzenie zabezpieczające jest instalowane do przzerwania zasilania przy wystąpieniu pierwszego zwarcia doziemnego, wskazanie pojawienia się pierwszego zwarcia części czynnej z częścią przewodzącą dostępną lub ziemią może być zapewnione przez RCM lub system lokalizacji uszkodzeń izolacji.	Jeżeli nie stosuje się zabezpieczenia wyłączającego zasilanie po pierwszym uszkodzeniu izolacji, to można wykorzystać RCM albo lokalizator uszkodzeń izolacji do sygnalizacji pierwszego zwarcia części czynnej z częścią przewodzącą dostępną albo z ziemią.
s. 14, p. 412.1.3 2. zdanie	Dlatego ten środek ochrony nie powinien być stosowany do żadnego obwodu, który zawiera gniazda wtyczkowe lub gdzie użytkownik może zmieniać części wyposażenia bez autoryzacji.	Ten środek ochrony nie powinien być zatem stosowany do obwodu zawierającego gniazdo wtyczkowe ani w sytuacji, kiedy użytkownik może samowolnie wymieniać jakiś element wyposażenia.
s. 15, p. 412.2.1.1	Urządzenie elektryczne powinno być jednym z następujących typów, sprawdzone i oznaczone według odpowiednich norm:	Urządzenie elektryczne powinno być wykonane w następujący sposób, przejść badania typu i być cechowane według właściwych norm:
s. 15, p. 412.2.2.2 2. wyczerpiecie	– obudowa izolacyjna nie powinna zawierać żadnych śrub lub innych mocujących środków z materiałów izolacyjnych, których usunięcie mogłoby być konieczne lub prawdopodobne, w czasie	– obudowa izolacyjna nie powinna zawierać żadnych śrub lub innych elementów mocujących z materiału izolacyjnego, które musiałyby lub mogłyby być zdejmowane podczas instalowania i eksplo-

	instalowania i eksploatacji i których zastąpienie przez śruby metalowe lub inne środki mocujące mogłoby uszkodzić izolację obudowy.	atacji, a których zastąpienie przez śruby lub inne elementy mocujące metalowe mogłoby naruszyć izolacyjność obudowy.
s. 15, p. 412.2.2.2 2. zdanie	Jeżeli przez obudowę izolacyjną muszą przechodzić mechaniczne złącza lub połączenia (np. uchwyty do czynności operacyjnych wbudowanej aparatury), to...	Jeżeli przez obudowę izolacyjną muszą przechodzić ciągła lub wałki (np. rękojeści napędowe wbudowanych aparatów), to...
s. 16, p. 412.2.3.1	Urządzenia wymienione w 412.2.1 (umocowania, połączenia przewodów, itd.) powinny być instalowane w taki sposób, aby nie osłabić ochrony osiągniętej z uwzględnieniem wymagań zawartych w specyfikacji urządzeń.	Instalowanie urządzeń wymienionych w 412.2.1 (mocowanie, połączenia przewodów itd.) należy tak przeprowadzić, aby nie naruszyć ochrony wynikającej z dotrzymania wymagań podanych w ich specyfikacji.
s. 16, p. 412.2.4.1	Należy rozważyć, czy oprzewodowanie zainstalowane zgodnie z IEC 60364-5-52 spełnia wymagania 412.2, jeżeli: – napięcie znamionowe oprzewodowania nie jest niższe niż nominalne napięcie systemu, a co najmniej 300/500 V, oraz	Uznaje się, że oprzewodowanie wykonane zgodnie z IEC 60364-5-52 spełnia wymagania 412.2, jeżeli: – napięcie znamionowe oprzewodowania jest nie niższe niż napięcie nominalne układu i nie niższe niż 300/500 V oraz
s. 16, p. 412.2.4.1 UWAGA 2	Takie oprzewodowanie nie powinno być oznaczone symbolem...	Takiego oprzewodowania nie zaleca się oznaczać symbolem...
s. 17, p. 413.2	Wszystkie urządzenia elektryczne powinny być przedmiotem jednego z podstawowych środków ochrony podanych w...	W każdym urządzeniu elektrycznym powinien być zastosowany jeden ze środków ochrony podstawowej podanych w...
s. 18, p. 414.2	Ochrona podstawowa i ochrona przy uszkodzeniu jest uważana za potrzebną, kiedy	Ochrona podstawowa i ochrona przy uszkodzeniu jest zapewniona, kiedy
s. 18, p. 414.2 UWAGA 2 Ostatnie zdanie	Między wewnętrznym obwodem i zewnętrznym obwodem wyższego napięcia...	Między wewnętrznymi obwodami a zewnętrznym obwodem wyższego napięcia...
s. 18, p. 414.2 UWAGA 3	W układach d.c. z bateriami, napięcie ładowania baterii przekracza...	W układach d.c. z bateriami, napięcie ładowania i napięcie buforowe baterii przekracza...

s.18, p. 414.3.1	Transformator ochronny zgodny z...	Transformator bezpieczeństwa zgodny z...
s.18, p. 414.3.2	Źródło prądu zapewniające stopień bezpieczeństwa równy do stopnia bezpiecznie transformatora ochronnego wymienionego w 414.3.1 (np. przetwornica dwumaszynowa z uzwojeniem zapewniającym równoważną izolację).	Źródło prądu zapewniające poziom ochrony równoważny transformatorowi bezpieczeństwa wymienionemu w 414.3.1 (np. przetwornica dwumaszynowa z uzwojeniami zapewniającymi równoważną izolację).
s. 19, p. 414.3.5	Źródła ruchome zasilane niskim napięciem, np. transformatory ochronne lub zespoły silnik-prądnic, powinny być dobierane i montowane zgodnie z wymaganiami dotyczącymi ochrony przy zastosowaniu podwójnej lub wzmocnionej izolacji (patrz Rozdział 412).	Źródła ruchome zasilane niskim napięciem, np. transformatory bezpieczeństwa lub przetwornice bezpieczeństwa, powinny być dobierane lub montowane zgodnie z wymaganiami stawianymi ochronie poprzez izolację podwójną lub wzmocnioną (patrz Rozdział 412).
s. 19, p. 414.4.2 1. wyliczenie	– przewody obwodów SELV i PELV powinny być ułożone w niemetalowej osłonie lub izolacyjnej obudowie jako uzupełnienie izolacji podstawowej;	– przewody obwodów SELV i PELV, poza izolacją podstawową, powinny być mieć niemetalową osłonę lub izolacyjną obudowę;
s. 19, p. 414.4.2 ostatnie wyliczenie	– fizyczna separacja.	– oddzielenie przestrzenne.
s. 25, p. C.1.2 przedostatni wiersz	jeżeli te części w wyniku uszkodzenia izolacji podstawowej lub części czynnej mogą...	jeżeli te części w wyniku uszkodzenia izolacji podstawowej części czynnej mogą...
s. 25, p. C.1.4	a) Odstępy pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi i częściami przewodzącymi obcymi są takie jak odstępy pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi. Odstęp ten jest wystarczający, jeżeli odległość między dwoma częściami jest nie mniejsza niż 2,50 m; ta odległość może być zmniejszona do 1,25 m poza strefą zasięgu ręki.	a) Oddalenie części przewodzących dostępnych między sobą i od części przewodzących obcych. Oddalenie 2,50 m jest wystarczające; może być zmniejszone do 1,25 m poza zasięgiem ręki.
s. 25, p. C.1.5 UWAGA	Jeżeli w każdym punkcie rezystancja jest mniejsza od wymienionej wartości, to	Jeżeli w jakimkolwiek punkcie rezystancja jest mniejsza od wymienionej wartości, to

s. 26, p. C.1.6	Wykonane ustawienia powinny być trwałe i nie powinno być możliwe uczynienie ich nieskutecznymi. Powinny one zapewniać również ochronę, gdy używane są urządzenia ruchome lub przenośne.	Przyjęte środki powinny trwale gwarantować skuteczność ochrony. Powinny też zapewniać ochronę urządzeń ruchomych, jeśli przewiduje się ich użycie.
s. 26, p. C.1.7	Powinny być podjęte odpowiednie środki ostrożności w celu zapewnienia, aby części przewodzące obce nie spowodowały przeniesienia potencjału z zewnątrz do rozpatrywanego pomieszczenia.	Należy podjąć środki zapobiegające wynoszeniu potencjału przez części przewodzące obce poza rozpatrywane pomieszczenie.
s. 26, p. C.2.4	Należy przewidzieć środki ostrożności zapobiegające narażeniu na niebezpieczną różnicę potencjałów osób wchodzących do pomieszczenia z połączeniami wyrównawczymi miejscowymi, szczególnie w takim przypadku, gdy przewodząca podłoga izolowana od ziemi jest połączona z nieuziemionym systemem połączeń wyrównawczych.	Należy podjąć środki zapobiegające narażeniu na niebezpieczną różnicę potencjałów osób wchodzących do pomieszczenia z połączeniami wyrównawczymi, zwłaszcza gdy przewodząca podłoga, izolowana od ziemi, jest połączona z nieuziemionymi połączeniami wyrównawczymi.
s. 31, ZA 412.2.4.1	Oprzewodowanie zainstalowane zgodnie z IEC 60364-5-52 w układzie elektrycznym z napięciem nominalnym nie wyższym niż 690 V, należy rozważyć, czy spełnia wymagania 412.2, jeżeli są stosowane następujące kable lub przewody izolowane:	Systemy oprzewodowania wykonane zgodnie z IEC 60364-5-52, w układach elektrycznych o napięciu nominalnym nie wyższym niż 690 V, uważa się za spełniające wymagania 412.2, jeżeli są użyte następujące kable lub przewody:
s. 31, ZA 412.2.4.1 1. wyczerpiecie	– kable zabezpieczone niemetalową osłoną, mające napięcie znamionowe o jeden stopień wyższe niż nominalne napięcie systemu i niezawierające metalowego pokrycia, lub	– kable o niemetalowej powłoce, bez żadnego metalowego pokrycia, mające napięcie znamionowe o jeden stopień wyższe niż napięcie nominalne układu, lub
s. 31, ZA 412.2.4.1 2. wyczerpiecie	– izolowane przewody instalowane w izolowanych rurach lub izolowanych korytkach zgodnie z odpowiednimi normami, lub	– przewody izolowane ułożone w izolacyjnych rurach lub korytkach spełniających wymagania odpowiednich norm, lub

Ochrona katodowa

<p>s. 31, ZA 412.2.4.1 3. wyliczenie</p>	<p>– kable z metalowym płaszczem, mające między przewodami a metalowym płaszczem i między takim metalowym płaszczem i powierzchnią zewnętrzną izolację odpowiednią do napięcia nominalnego elektrycznego systemu.</p>	<p>– kable o metalowej powłoce oddzielonej izolacją podstawową, odpowiednią do napięcia nominalnego układu, zarówno od żył, jak i od powierzchni zewnętrznej.</p>
----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------