POLITECHNIKA GDAŃSKA

Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego napięcia i wysokiego napięcia – zagadnienia wybrane

Stanisław Czapp

Bydgoszcz – Toruń, 16.03.2023

Zakres wykładu

1) Zagadnienia ogólne:
   - normy i przepisy,
   - podstawowe terminy i definicje,
   - odziaływanie prądu na organizm ludzki – wartości graniczne,
   - napięcia dotykowe (krokowe) spodziewane a napięcia dotykowe (krokowe) rażeniowe,
2) Urządzenia o napięciu wyższym niż 1 kV:
   - największe dopuszczalne wartości napięć uziomowych i napięć dotykowych w urządzeniach o napięciu wyższym niż 1 kV,
   - zagrożenie porażeniowe przy słupach linii elektroenergetycznych o napięciu wyższym niż 1 kV,
   - rezystancja uziemienia, napięcie uziomowe czy napięcie dotykowe – wybór kryterium decydującego o skuteczności ochrony przeciwporażeniowej,
   - uziemienia słupów linii elektroenergetycznych o napięciu wyższym niż 1 kV a ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa,
   - napięcia indukowane w żyłach powrotnych kabli,
   - celowość układania przewodu równoległego (ECC) do kabla o napięciu wyższym niż 1 kV,
3) Urządzenia o napięciu do 1 kV:
   - samoczynne wyłączanie zasilania – zasada, sprawdzanie, problemy interpretacyjne,
   - wyłączniki różnicowoprądowe i urządzenia do detekcji zwarć łukowych w ochronie przed pożarem,
   - sieci oświetlenia ulicznego a wyłączniki różnicowoprądowe,
   - zmiana układu TT na TN w sieci oświetlenia ulicznego,
4) Sieć trakcyjna DC 3 kV:
   - zagrożenie porażeniowe,
   - uszynienie a uziemienie,
   - urządzenia niskiego napięcia w strefie odziaływania sieci trakcyjnej

Przepisy i normy – urządzenia niskiego napięcia

1. Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz.U. z 1994, Nr 89, poz. 414 z późn. zm.).
2. Obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2022, poz. 1225).
3. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 1 lipca 2022 r. w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci (Dz.U. z 2022, poz. 1392).
4. PN-EN 61140:2016-07 (wersja polska) Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń.
5. PN-HD 60364-1:2010 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 1: Wymagania podstawowe, ustalanie ogólnych charakterystyk, definicje.
6. PN-HD 60364-4-41:2017-09 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
7. *PN-HD 60364-4-41:2009 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym.*
8. PN-HD 60364-5-53:2022-10 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-53: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Aparatura rozdzielcza i sterownicza.
9. *PN-HD 60364-5-53:2016-02 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-53: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Aparatura rozdzielcza i sterownicza.*
10. PN-HD 60364-5-54:2011 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Układy uziemiające i przewody ochronne.
11. PN-HD 60364-5-56:2019-01 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-56: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Instalacje bezpieczeństwa.

Przepisy i normy – urządzenia niskiego napięcia

12. PN-HD 60364-6:2016-07 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzanie.
13. PN-HD 60364-7-701:2010 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-701: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Pomieszczenia wyposażone w wannę lub prysznic.
14. PN-HD 60364-7-702:2010 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-702: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Baseny pływackie i fontanny.
15. PN-HD 60364-7-703:2007 (wersja polska) Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Część 7-703: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Pomieszczenia i kabiny zawierające ogrzewacze sauny.
16. PN-HD 60364-7-704:2018-08 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-704: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Instalacje na terenie budowy i rozbiórki.
17. PN-HD 60364-7-705:2007 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-705: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Gospodarstwa rolnicze i ogrodnicze.
18. PN-HD 60364-7-706:2007 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-706: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Pomieszczenia przewodzące i ograniczające swobodę ruchu.
19. PN-HD 60364-7-708:2017-11 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-708: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Kempingi dla przyczep, kempingi oraz podobne lokalizacje.
20. PN-HD 60364-7-709:2010 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-709: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Porty jachtowe oraz podobne lokalizacje.

Przepisy i normy – urządzenia niskiego napięcia

21. PN-HD 60364-7-710:2012 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-710: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Pomieszczenia medyczne.
22. PN-HD 60364-7-711:2019-06 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-711: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Wystawy, pokazy i stoiska.
23. PN-HD 60364-7-712:2016-05 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
24. PN-IEC 60364-7-713:2017-10 (wersja angielska) Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Część 7-713: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Meble.
25. PN-HD 60364-7-714:2012 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-714: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Instalacje oświetlenia zewnętrznego.
26. PN-HD 60364-7-715:2012 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-715: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Instalacje oświetleniowe o bardzo niskim napięciu.
27. PN-HD 60364-7-717:2010 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-717: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Zespoły ruchome lub przewoźne.
28. PN-HD 60364-7-718:2013-12 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-718: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Obiekty komunalne i miejsca pracy.
29. PN-HD 60364-7-721:2019-05 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-721: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Instalacje elektryczne w przyczepach kempingowych i pojazdach z przestrzenią mieszkalną.
30. PN-HD 60364-7-722:2019-01 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-722: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Zasilanie pojazdów elektrycznych.

Przepisy i normy – urządzenia niskiego napięcia

31. PN-HD 60364-7-729:2010 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-729: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Korytarze obsługi lub nadzoru.
32. PN-HD 60364-7-730:2015-09 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-730: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Zasilanie jednostek żeglugi śródlądowej.
33. PN-HD 60364-7-740:2009 (wersja polska) Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Część 7-740: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Tymczasowe instalacje elektryczne obiektów, urządzeń rozrywkowych i straganów na terenie targów, wesołych miasteczek i cyrków.
34. PN-HD 60364-7-753:2014-12 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-753: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Kable grzewcze i wbudowane systemy grzewcze.
35. PN-HD 60364-8-2:2019-01 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 8-2: Niskonapięciowe instalacje elektryczne prosumenta.
36. PN-EN 61008-1:2013-05 (wersja angielska) Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnego (RCCB) – Część 1: Postanowienia ogólne.
37. PN-EN 60204-1:2018-12 (wersja polska) Bezpieczeństwo maszyn – Wyposażenie elektryczne maszyn – Część 1: Wymagania ogólne.
38. PN-EN 62606:2014-05 (wersja angielska) Wymagania ogólne dla urządzeń do detekcji zwarć łukowych.
39. PN-HD 60364-4-42:2011/A1:2015-01 (wersja angielska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-42: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami oddziaływania cieplnego.

Przepisy i normy – urządzenia wysokiego napięcia

1. PN-EN IEC 61936-1:2022-04 (wersja angielska) Instalacje elektroenergetyczne o napięciu wyższym od 1 kV AC i 1,5 kV DC – Część 1: AC.
2. *PN-EN 61936-1:2011 (wersja polska) Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV – Część 1: Postanowienia ogólne.*
3. PN-EN 50522:2022-12 (wersja angielska) Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
4. *PN-EN 50522:2011 (wersja polska) Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.*
5. *PN-E-05115:2002 (wersja polska) Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.*
6. PN-EN 50341-1:2013 (wersja polska) Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV – Część 1: Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne.
7. PN-EN 50341-2-22:2022-06 (wersja angielska) Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV – Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski.
8. *PN-EN 50341-2-22:2016-04 (wersja angielska) Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV – Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski.*
9. PN-HD 60364-4-442:2012 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-442: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przepięciami dorywczymi powstającymi wskutek zwarć doziemnych w układach po stronie wysokiego i niskiego napięcia.

Przepisy i normy – zelektryfikowany szlak kolejowy

1. PN-EN 50122-1:2011 (wersja angielska) Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 1: Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym.
2. PN-EN 50122-2:2011 (wersja angielska) Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 2: Środki ochrony przed skutkami prądów błądzących powodowanych przez systemy trakcji prądu stałego.
3. PN-EN 50122-3:2011 (wersja angielska) Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 3: Oddziaływanie wzajemne systemów trakcji prądu przemiennego i stałego.
4. PN-EN 50526-2:2014-09 (wersja angielska) Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie – Część 2: Urządzenia ograniczające napięcie.
5. PN-EN 50526-3:2016-08 (wersja angielska) Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie – Część 3: Przewodnik stosowania.
6. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. z 1998, nr 151, poz. 987).
7. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 5 czerwca 2014 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. z 2014, poz. 867).
8. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 czerwca 2018 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. z 2018, poz. 1175)
9. Iet-120: Wymagania techniczne dla zapewnienia ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym, przed przepięciami i od wyładowań atmosferycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV. Warszawa 2018.

Zasady ochrony przed porażeniem i przed przepięciami

„Szanowni Państwo,
publikujemy dokumenty referencyjne dotyczące zasad ochrony przed porażeniem w stacjach elektroenergetycznych średniego napięcia (SN/nn, SN/SN i SN) oraz w liniach nn w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji wypracowane przez Operatorów Systemów Dystrybucyjnych będących członkami PTPiREE.
Pliki do pobrania:

- **Zasady projektowania, budowy i eksploatacji linii nn i stacji SN/nn w zakresie ochrony przed porażeniem,**
- **Zasady projektowania, budowy i eksploatacji linii SN w zakresie ochrony przed porażeniem,**
- **Zasady projektowania, budowy i eksploatacji sieci NN i WN, w tym linii NN i WN, stacji NN/WN, WN/SN oraz stacji rozdzielczych WN i SN w zakresie ochrony przed porażeniem,**
- **Zasady projektowania, budowy i eksploatacji sieci NN, WN, SN i nn w zakresie ochrony przed przepięciami,**
- **Tabela wartości U_{Tp}, U_F oraz U_D – rozszerzenie dla czasów zwarcia doziemnego w przedziale 1-2 sekund,**

oraz

- **Materiały z wewnętrznego seminarium dla Spółek OSD wymienionych powyżej poświęconego zagadnieniom ochrony przed porażeniem i przed przepięciami, które odbyła się w czerwcu 2021 r.,**
- **Zestawienie pytań z seminarium_ 08_12_2021.**

Rekomendowane działania.
Etap I – *możliwość stosowania zasad ochrony przed porażeniem i przed przepięciami na dotychczasowych zasadach do dnia 31 grudnia 2022 r.*
Etap II – *obowiązek projektowania i budowy sieci elektroenergetycznej według zasad określonych w dokumentach „Zasady ochrony przed porażeniem w stacjach SN/nn, SN/SN i SN oraz w liniach nn w spółkach OSD w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji” od dnia 1 stycznia 2023 r. włącznie z uwzględnieniem warunków określonych w umowach i innych regulacjach OSD*.”

Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej (PTPiREE)

http://www.ptpiree.pl/opracowania/ochrona-przed-porazeniem

**ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM
W STACJACH SN/nn, SN/SN I SN
ORAZ W LINIACH nn W SPÓŁKACH OSD
W ZAKRESIE PROJEKTOWANIA, BUDOWY I EKSPLOATACJI**

Etap 3 (217 stron)

**ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM
W LINIACH KABLOWYCH I NAPOWIETRZNYCH
W SIECIACH SN OSD
W ZAKRESIE PROJEKTOWANIA, BUDOWY I EKSPLOATACJI**

Etap 4 (135 stron)

**ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM
W STACJACH i LINIACH WN i NN**

Etap 5 (180 stron)

**ZASADY OCHRONY PRZED PRZEPIĘCIAMI
LINII I STACJI ELEKTROENERGETYCZNYCH WN, SN
ORAZ nn W SPÓŁKACH OSD**

Etap 6 (175 stron)

Ustawa Prawo budowlane

Art. 5. 1. Obiekt budowlany jako całość oraz jego poszczególne części, wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w **przepisach**, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z **zasadami wiedzy technicznej**, zapewniając: (…)

Przepisy i normy

Według opracowania Musiał E.: POMIARY ODBIORCZE I EKSPLOATACYJNE ZAPEWNIAJĄCE BEZPIECZEŃSTWO PRZY URZĄDZENIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH (materiały ze szkolenia dla członków Pomorsko-Kujawskiej Izby Inżynierów Budownictwa, Bydgoszcz – Toruń – Włocławek, 26-27 listopada 2010 r.):

„Działania inżynierskie powinny bazować na aktualnym stanie wiedzy technicznej, który na potrzeby praktyki wyrażają **uznane reguły techniczne**, nazywane w polskim prawie również **zasadami wiedzy technicznej**. Dokument ISO/IEC Guide 2/1986 wyjaśnia, że *uznane reguły techniczne są to rozstrzygnięcia problemów technicznych przyjęte przez większość gremium reprezentatywnych specjalistów jako odpowiadające aktualnemu stanowi wiedzy*, czyli osiągniętemu w danym czasie stanowi możliwości technicznych w odniesieniu do wyrobów, procesów i usług, opartemu na wspólnych osiągnięciach nauki, techniki i praktyki. Zbiorem uznanych reguł technicznych są w pierwszym rzędzie **normy**. Racjonalizują one działalność techniczną, są gwarantem bezpieczeństwa, ochrony zdrowia i ochrony środowiska, określając w pełni jawne kompromisy, przyjęte na zasadzie konsensu przez specjalistów reprezentujących wszystkie zainteresowane strony (producentów i wykonawców usług, klientów i użytkowników, organy nadzoru rynku i inne władze publiczne, jednostki i laboratoria badawcze). Normy tworzą pomosty porozumienia w gospodarce, technice, nauce i administracji, służą interesowi ogółu, całej społeczności, a nie jednej z zainteresowanych stron.

(…)

W następnej kolejności zbiorem uznanych reguł technicznych powinny być rzeczowe **komentarze do norm** opracowane przez uznanych specjalistów…”

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury

§ 183. 1. W instalacjach elektrycznych należy stosować:
1) złącza instalacji elektrycznej budynku, umożliwiające odłączenie od sieci zasilającej i usytuowane w miejscu dostępnym dla dozoru i obsługi oraz zabezpieczone przed uszkodzeniami, wpływami atmosferycznymi, a także ingerencją osób niepowołanych;
2) oddzielny przewód ochronny i neutralny, w obwodach rozdzielczych i odbiorczych;
3) urządzenia ochronne różnicowoprądowe uzupełniające podstawową ochronę przeciwporażeniową i ochronę przed powstaniem pożaru, powodujące w warunkach uszkodzenia samoczynne wyłączenie zasilania;
4) wyłączniki nadprądowe w obwodach odbiorczych;
5) zasadę selektywności (wybiorczości) zabezpieczeń;
6) przeciwpożarowe wyłączniki prądu;
7) połączenia wyrównawcze główne i miejscowe, łączące przewody ochronne z częściami przewodzącymi innych instalacji i konstrukcji budynku;
8) zasadę prowadzenia tras przewodów elektrycznych w liniach prostych, równoległych do krawędzi ścian i stropów;
9) przewody elektryczne z żyłami wykonanymi wyłącznie z miedzi, jeżeli ich przekrój nie przekracza 10 mm^2;
10) urządzenia ochrony przeciwprzepięciowej.

§ 180. Instalacja i urządzenia elektryczne, przy zachowaniu przepisów rozporządzenia, przepisów odrębnych dotyczących dostarczania energii, ochrony przeciwpożarowej, ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa i higieny pracy, a także wymagań Polskich Norm odnoszących się do tych instalacji i urządzeń, powinny zapewniać:
(…)
2) ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym, przepięciami łączeniowymi i atmosferycznymi, powstaniem pożaru, wybuchem i innymi szkodami;

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury

§ 180. Instalacja i urządzenia elektryczne, przy zachowaniu przepisów rozporządzenia, przepisów odrębnych dotyczących dostarczania energii, ochrony przeciwpożarowej, ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa i higieny pracy, a także wymagań Polskich Norm odnoszących się do tych instalacji i urządzeń, powinny zapewniać:

(…)

2) ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym, przepięciami łączeniowymi i atmosferycznymi, powstaniem pożaru, wybuchem i innymi szkodami;

Zatem **należy zachować wymagania Polskich Norm**

Przykład postanowienia normy zakazującego stosowania wyłączników różnicowoprądowych w określonych obwodach:

PN-HD 60364-5-56:2019-01, Punkt 560.7.13

Obwodów bezpieczeństwa **nie należy** zabezpieczać wyłącznikami różnicowoprądowymi ani urządzeniami do detekcji zwarć łukowych (AFDD).

ISO/IEC Guide 51:2014 Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards

Termin „bezpieczny” jest często rozumiany jako stan, w którym zapewniono ochronę przed wszelkimi zagrożeniami. Jest to jednak nieporozumienie – „bezpieczny” to raczej stan, w którym zapewniono ochronę przed rozpoznanymi możliwymi zagrożeniami.
Pewien poziom ryzyka jest nieodłącznie związany z użytkowaniem produktów i systemów.

Ryzyko należy ograniczyć do dopuszczalnego/akceptowalnego poziomu.

Nie ma bezpieczeństwa stuprocentowego – pewne ryzyko akceptuje się.

Słownik IEV, termin nr 195-01-05

protection against electric shock (ochrona przeciwporażeniowa) – provision of measures **reducing** the risk of electric shock (środki **zmniejszające** ryzyko porażenia elektrycznego)

PN-EN 61140 Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń

Pkt 4. Podstawowa zasada ochrony przed porażeniem elektrycznym

Części czynne niebezpieczne nie powinny być dostępne, a części przewodzące dostępne nie powinny być niebezpieczne:
- w warunkach normalnych (w braku uszkodzenia),
- w przypadku **pojedynczego** uszkodzenia.

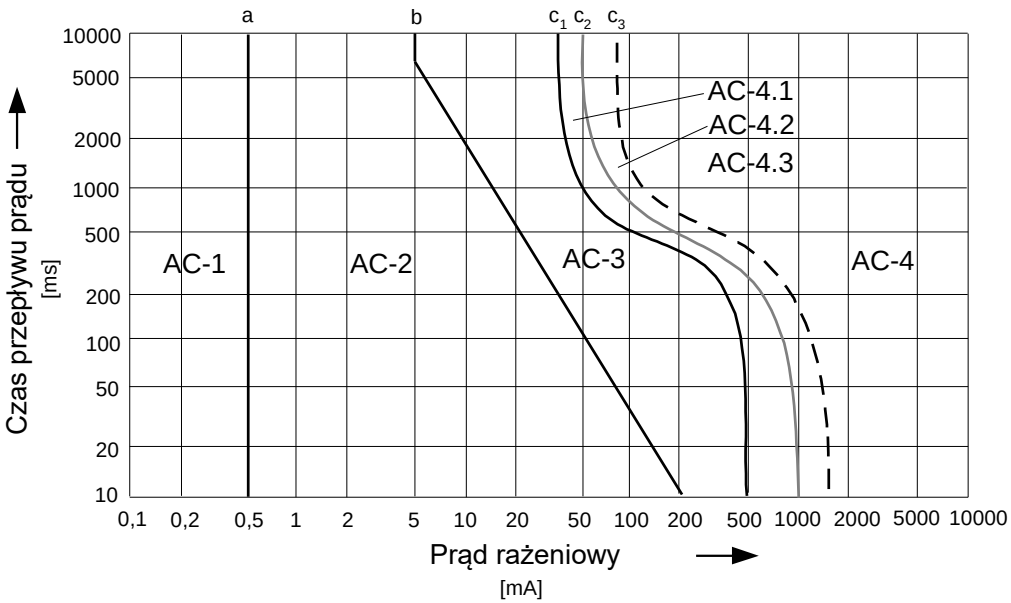
Ochrona w warunkach normalnych (ang. *normal conditions*) jest zapewniona przez zastosowanie ochrony podstawowej (ochrony przed dotykiem bezpośrednim). Zakłada się, że urządzenie jest użytkowane zgodnie z przeznaczeniem, a środki ochrony są sprawne.

Ochrona w przypadku pojedynczego uszkodzenia (ang. *single-fault conditions*) jest zapewniona przez zastosowanie ochrony przy uszkodzeniu (ochrony przy dotyku pośrednim, ochrony dodatkowej).

single-fault conditions – ochrona jest skuteczna, mimo wystąpienia **jednego**, dość prawdopodobnego uszkodzenia

Skutki rażenia prądem przemiennym sinusoidalnym

IEC 60479-1 Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects

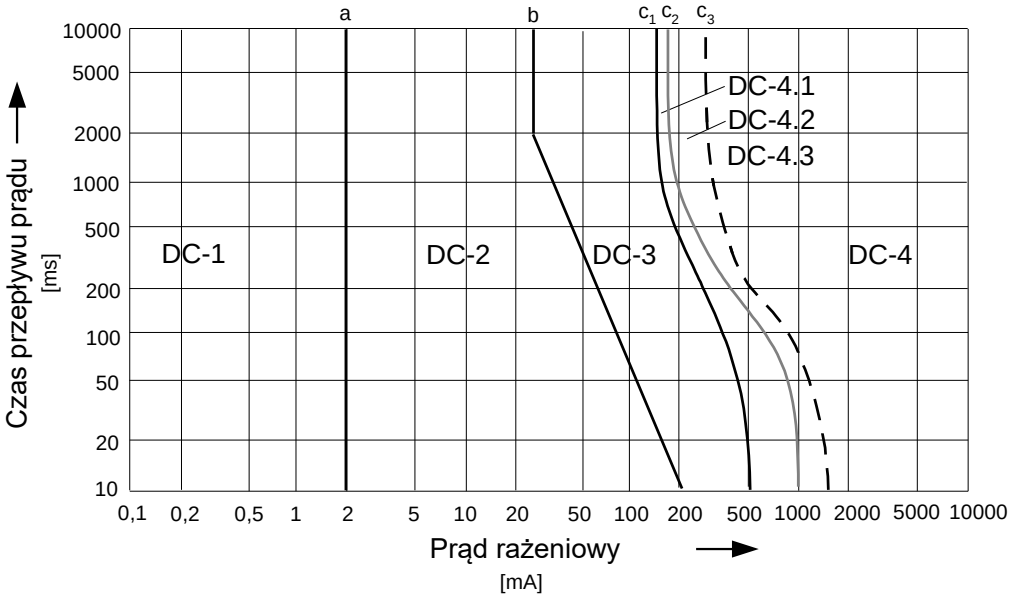


Pierwotne kryteria bezpieczeństwa przy urządzeniach prądu przemiennego 15–100 Hz – bezpośrednie skutki rażenia na drodze lewa ręka – stopy

Oznaczenie strefy	Granice strefy	Skutki fizjologiczne
AC-1	do 0,5 mA, linia a	Zwykle brak reakcji.
AC-2	0,5 mA do linii b	Zwykle brak szkodliwych skutków fizjologicznych.
AC-3	linia b do krzywej c_1	Zwykle brak uszkodzeń organicznych (somatycznych). Prawdopodobieństwo pojawienia się skurczu mięśni i trudności przy oddychaniu. Odwracalne zakłócenia pracy serca. Możliwe przejściowe zatrzymanie akcji serca.
AC-4	powyżej krzywej c_1	Wzrastające niebezpieczeństwo skutków patofizjologicznych takich jak zatrzymanie pracy serca, zatrzymanie oddychania, poważne oparzenia.
AC-4.1	$c_1 – c_2$	Prawdopodobieństwo migotania komór serca wzrastające do około 5%.
AC-4.2	$c_2 – c_3$	Prawdopodobieństwo migotania komór serca wzrastające do około 50%.
AC-4.3	powyżej krzywej c_3	Prawdopodobieństwo migotania komór serca powyżej 50%.

Skutki rażenia prądem stałym

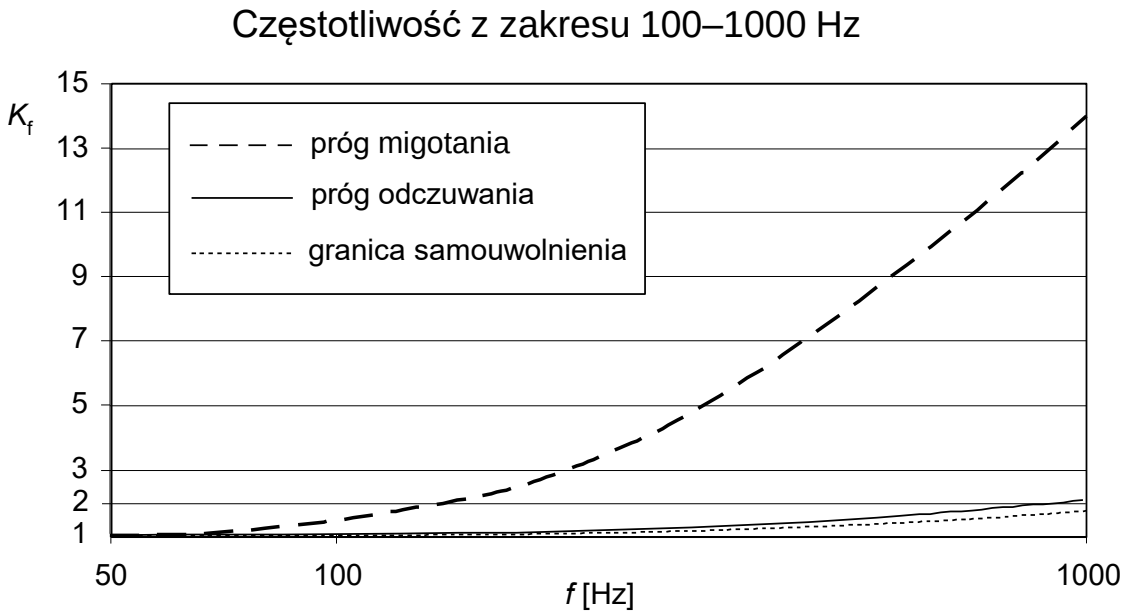
IEC 60479-1 Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects



Pierwotne kryteria bezpieczeństwa przy urządzeniach prądu stałego – bezpośrednie skutki rażenia na drodze lewa ręka – stopy, prąd wstępujący

Oznaczenie strefy	Granice strefy	Skutki fizjologiczne
DC-1	do 2 mA, linia a	Zwykle brak reakcji. Lekkie kłucie przy załączaniu i wyłączaniu prądu lub przy szybkiej zmianie wartości prądu.
DC-2	2 mA, do linii b	Zwykle brak szkodliwych skutków fizjologicznych. Skurcz mięśni przy załączaniu i wyłączaniu prądu.
DC-3	linia b do krzywej c_1	Zwykle brak uszkodzeń organicznych (somatycznych). Wzrost wraz z wartością prądu i czasu możliwych, odwracalnych zakłóceń w powstawaniu i przewodzeniu bodźców w sercu.
DC-4	powyżej krzywej c_1	Wzrastające niebezpieczeństwo skutków patofizjologicznych takich jak zatrzymanie pracy serca, zatrzymanie oddychania, poważne oparzenia.
DC-4.1	$c_1 – c_2$	Prawdopodobieństwo migotania komór serca wzrastające do około 5%
DC-4.2	$c_2 – c_3$	Prawdopodobieństwo migotania komór serca wzrastające do około 50%
DC-4.3	powyżej krzywej c_3	Prawdopodobieństwo migotania komór serca powyżej 50%

IEC 60479-2 Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects



Zależność od częstotliwości współczynnika przeliczeniowego K_f określającego próg odczuwania i próg migotania komór serca oraz granicę samouwolnienia

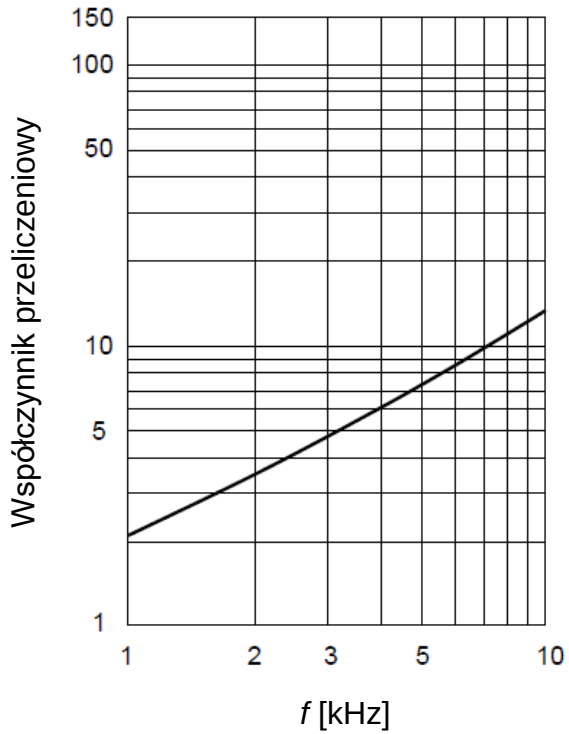
Częstotliwość najmniejszy wpływ ma na granicę samouwolnienia, nieco większy na próg odczuwania, a najbardziej zmienia się najistotniejszy parametr – próg migotania komór serca.

Jeżeli założyć, że przy częstotliwości 50 Hz lub mniejszej niebezpieczne dla człowieka są długotrwale płynące prądy o wartości powyżej 30 mA, to przy częstotliwości 1000 Hz próg ten przesuwa się do wartości około 420 mA (K_f = 14).

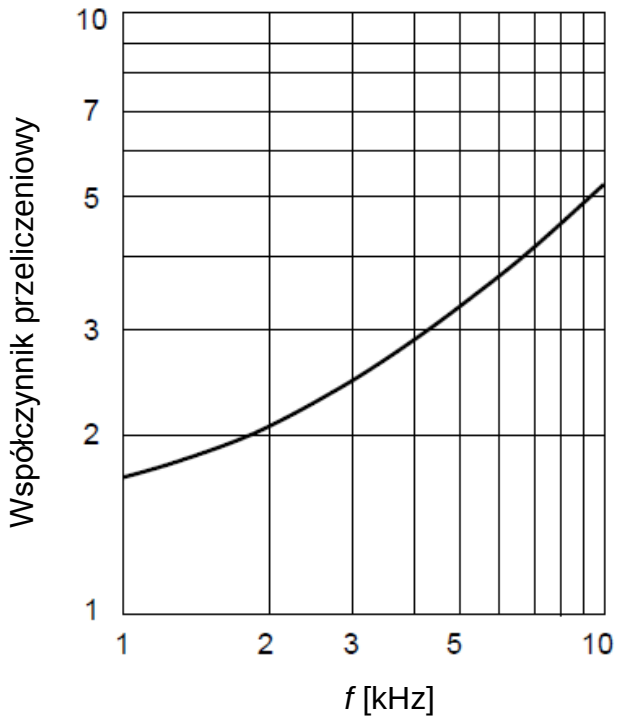
IEC 60479-2 Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects

Częstotliwość z zakresu 1–10 kHz

Próg odczuwania



Granica samouwolnienia



Próg migotania komór serca

W zakresie częstotliwości prądu 1 kHz – 150 kHz dokument IEC 60479-2:2019 podaje orientacyjne dane dla dłuższych czasów rażenia – dalszy wzrost współczynnika przeliczeniowego K_f, np.:

7 kHz – współczynnik K_f = 100; 70 kHz – współczynnik K_f = 1000; 150 kHz – współczynnik K_f = 2000

Napięcie dotykowe, napięcie krokowe

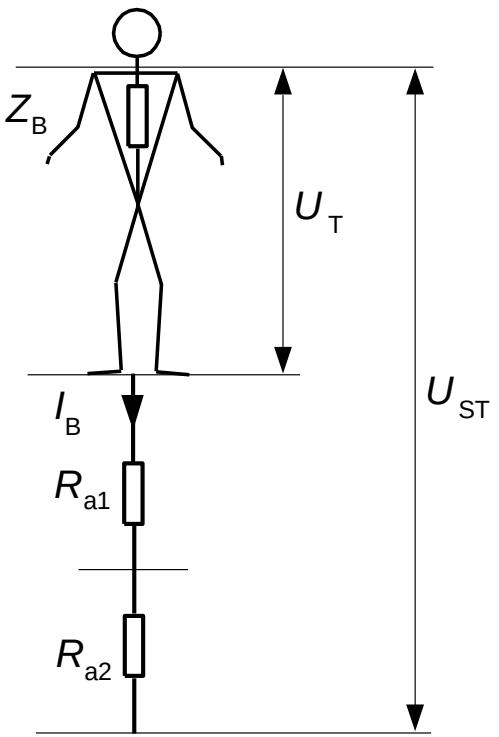
Napięcie dotykowe spodziewane U_{ST} jest to różnica potencjałów między dwoma punktami, z którymi mogą zetknąć się jednocześnie ręce lub ręka i stopa człowieka.

Napięcie krokowe spodziewane U_{SS} jest to różnica potencjałów między dwoma punktami na powierzchni ziemi lub innego stanowiska oddalonymi od siebie na długość kroku.

Napięcie dotykowe spodziewane oraz napięcie krokowe spodziewane występują między punktami, które człowiek może jednocześnie dotknąć, występują przed połączeniem tych dwóch punktów przez ciało człowieka.
Po dotknięciu płynie prąd rażeniowy, który wywołuje spadek napięcia na impedancji ciała ludzkiego $I_B \cdot Z_B$. Ten spadek napięcia to odpowiednio:
napięcie dotykowe rażeniowe U_T lub
napięcie krokowe rażeniowe U_S.

Rezystancję przejścia R_p (w Ω) jednej stopy można obliczyć zastępując stopę krążkiem o równoważnej powierzchni styczności z podłożem.
Krążek taki ma w przybliżeniu średnicę $D \approx 0{,}16$ m i położony na powierzchni gruntu ma rezystancję przejścia (rezystancję uziemienia):

$$R_p \approx \frac{\rho}{2D} = \frac{\rho}{2 \cdot 0{,}16} \approx 3\rho$$



Z_B – impedancja ciała ludzkiego,
I_B – prąd rażeniowy,
U_T – napięcie dotykowe rażeniowe,
U_{ST} – napięcie dotykowe spodziewane,
R_{a1}, R_{a2} – dodatkowe rezystancje w obwodzie rażeniowym

Napięcie dotykowe, napięcie krokowe

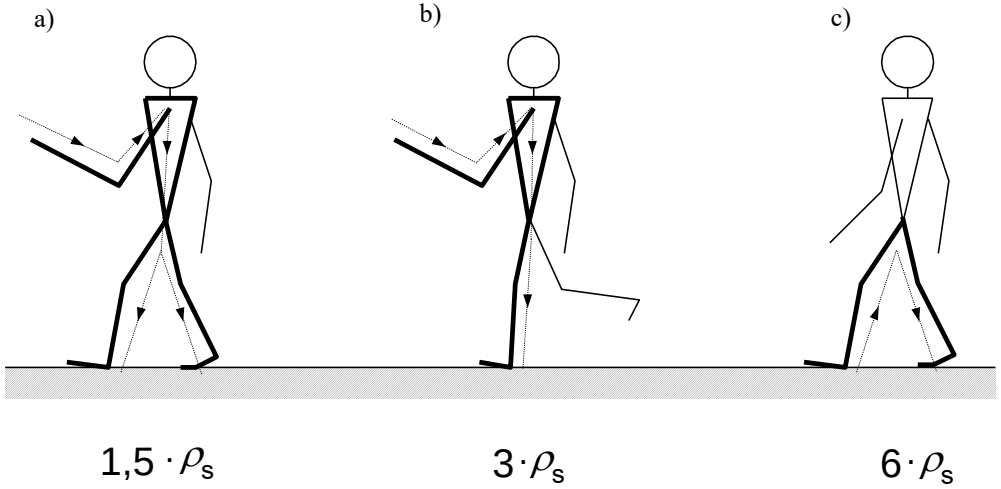
Rezystywność ρ (w Ωm) jest rezystywnością wierzchniej warstwy gruntu lub innego podłoża, w której gęstość prądu jest największa i która ma decydujący wpływ na wartość rezystancji przejścia.

Przy rażeniu napięciem dotykowym, kiedy prąd płynie od ręki do obu stóp (równolegle połączonych), wypadkowa rezystancja przejścia, nazywana w tym przypadku rezystancją stanowiska R_{st}, jest dwukrotnie mniejsza, niż dla jednej stopy:

$$R_{st} = 0{,}5R_p \approx 1{,}5\rho$$

Natomiast przy rażeniu napięciem krokowym, kiedy prąd płynie przez ciało człowieka od jednej stopy do drugiej, wypadkowa rezystancja przejścia jest dwukrotnie większa, niż dla jednej stopy:

$$2R_p \approx 6\rho$$



Rezystancja przejścia przy rażeniu na drodze: a) ręka – stopy, b) ręka – stopa, c) stopa – stopa

Napięcie dotykowe, napięcie krokowe

Przy rażeniu napięciem dotykowym na drodze ręka – stopy zachodzi zależność:

$$I_{\mathrm{B}} = \frac{U_{\mathrm{T}}}{Z_{\mathrm{B}}} = \frac{U_{\mathrm{ST}}}{Z_{\mathrm{B}} + R_{\mathrm{st}}}$$

Dla przyjmowanej wartości impedancji ciała Z_{B} = 1000 Ω napięcie dotykowe rażeniowe wynosi:

$$U_{\mathrm{T}} = U_{\mathrm{ST}} \frac{Z_{\mathrm{B}}}{Z_{\mathrm{B}} + R_{\mathrm{st}}} = U_{\mathrm{ST}} \frac{Z_{\mathrm{B}}}{Z_{\mathrm{B}} + 0{,}5 R_{\mathrm{p}}} = U_{\mathrm{ST}} \frac{1000}{1000 + 1{,}5\rho}$$

Analogicznie można obliczyć napięcie krokowe rażeniowe:

$$U_{\mathrm{S}} = U_{\mathrm{SS}} \frac{1000}{1000 + 6\rho}$$

Terminy i definicje

Część czynna – część przewodząca urządzenia elektrycznego, która w normalnych warunkach pracy może przewodzić prąd lub znajdować się pod napięciem, a nie spełnia funkcji przewodu ochronnego. Częścią czynną jest przewód liniowy L, przewód neutralny N, a nie jest – przewód ochronno-neutralny PEN.

Część przewodząca obca – dostępny dla dotyku przewodzący przedmiot, niebędący częścią urządzenia elektrycznego, który może wprowadzać określony potencjał, zazwyczaj potencjał ziemi, np. metalowa konstrukcja budowlana, metalowy rurociąg, przewodząca podłoga lub ściana.

Część przewodząca dostępna – dostępna dla dotyku (palcem probierczym) przewodząca część urządzenia elektrycznego, niebędąca częścią czynną, która może znaleźć się pod napięciem tylko w razie uszkodzenia urządzenia.

Ochrona przeciwporażeniowa podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim) – zespół środków technicznych chroniących przed zetknięciem się człowieka z częściami czynnymi oraz przed udzieleniem się napięcia częściom przewodzącym dostępnym.

Ochrona przeciwporażeniowa przy uszkodzeniu (ochrona dodatkowa, ochrona przy dotyku pośrednim) – zespół środków technicznych chroniących przed, wynikłymi z uszkodzenia ochrony przeciwporażeniowej podstawowej, skutkami zetknięcia się człowieka z częściami przewodzącymi dostępnymi i/lub częściami przewodzącymi obcymi**.**

Ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca – zespół środków technicznych chroniących przed porażeniem, kiedy ochrona podstawowa zawodzi lub zostaje ominięta, a ochrona dodatkowa nie zapobiega rażeniu.

Środki ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach nn

Ochrona przeciwporażeniowa podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim):

- izolacja podstawowa
- przegrody lub obudowy
- przeszkody
- umieszczenie poza zasięgiem ręki

Ochrona przeciwporażeniowa przy uszkodzeniu (ochrona przy dotyku pośrednim, ochrona dodatkowa):

- samoczynne wyłączanie zasilania
- izolacja podwójna lub wzmocniona
- separacja elektryczna
- izolowanie stanowiska
- bardzo niskie napięcie SELV lub PELV
- (nieuziemione połączenia wyrównawcze miejscowe)

Ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca:

- wyłączniki różnicowoprądowe wysokoczułe ($I_{\Delta n} \leq 30$ mA)
- połączenia wyrównawcze

Zasada!

Ochrona przeciwporażeniowa przez samoczynne wyłączanie zasilania jest skuteczna, jeżeli po wystąpieniu zwarcia L-PE(PEN):

- następuje wyłączenie zasilania w wymaganym czasie **lub**
- nie są przekroczone napięcia dotykowe dopuszczalne długotrwale.

Przy doziemieniu spadek napięcia na przewodzie ochronnym pomiędzy odbiornikiem a miejscem gdzie są wykonane połączenia wyrównawcze nie powinien przekraczać napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale:

$$R_{\mathrm{PE}} \cdot I_{\mathrm{a}} \leq U_{\mathrm{L}}$$

gdzie:

U_L – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale,
I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia nadprądowego,
R_{PE} – rezystancja przewodu ochronnego pomiędzy odbiornikiem a miejscem wykonania połączeń wyrównawczych.

Samoczynne wyłączanie zasilania

Największy dopuszczalny czas wyłączania zasilania w sekundach wg PN-HD 60364-4-41:2017-09

Układ sieci	50 V < U_o ≤ 120 V		120 V < **U_o ≤ 230 V**		230 V< U_o ≤ 400 V		U_o > 400 V	
	AC	DC	**AC**	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	[1])	**0,4**	1 (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.
U_o – napięcie instalacji względem ziemi
W nawiasie podano czas wymagany przez normę PN-HD 60364-4-41:2009

Czasy podane w tablicy odnoszą się do obwodów odbiorczych:

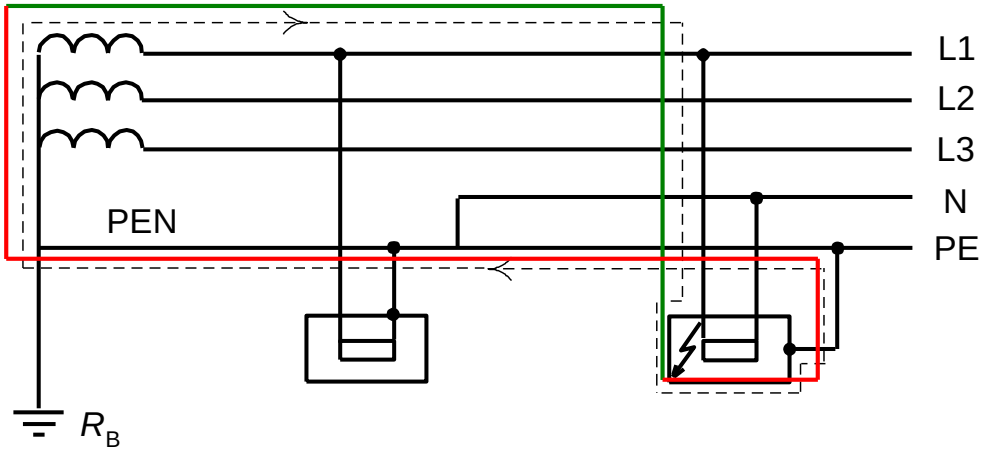
a) gniazd wtyczkowych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 63 A,

b) z odbiornikami zainstalowanymi na stałe o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A.

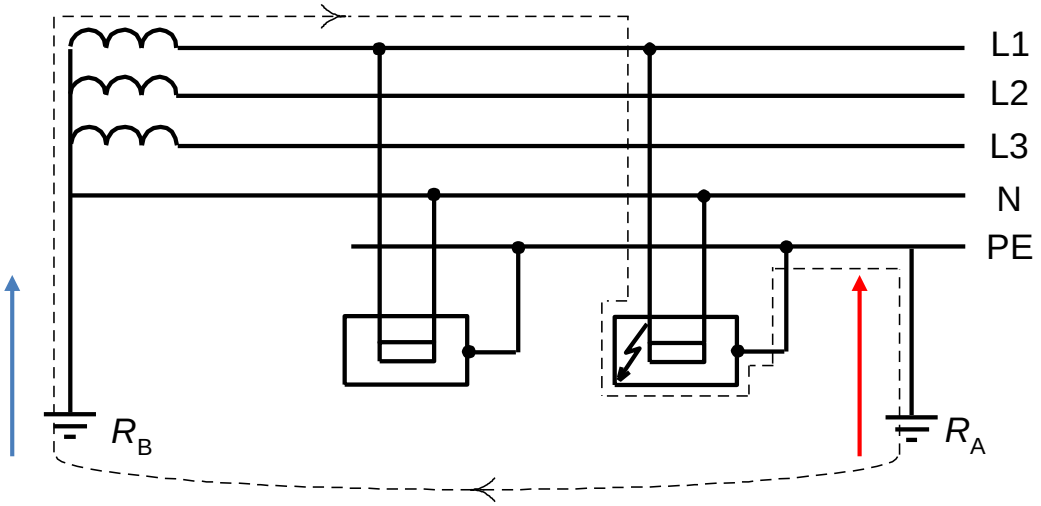
Dla innych obwodów odbiorczych oraz dla obwodów rozdzielczych można przyjmować czasy wyłączania nie większe niż:

- 5 s – w układzie TN,
- 1 s – w układzie TT.

Układ TN – napięcia dotykowe



Układ TT – napięcia dotykowe



Samoczynne wyłączanie zasilania

PN-HD 60364-4-41:2017-09

Jeżeli samoczynne wyłączenie zasilania przez zabezpieczenia nadprądowe nie jest możliwe, a instalowanie wyłączników różnicowoprądowych nie wchodzi w rachubę (np. z powodu dużych prądów upływowych lub wymagań co do niezawodności zasilania), to należy zastosować rozwiązania podane w załączniku D normy.

D1. Jeżeli samoczynne wyłączania zasilania nie jest możliwe z następujących powodów:

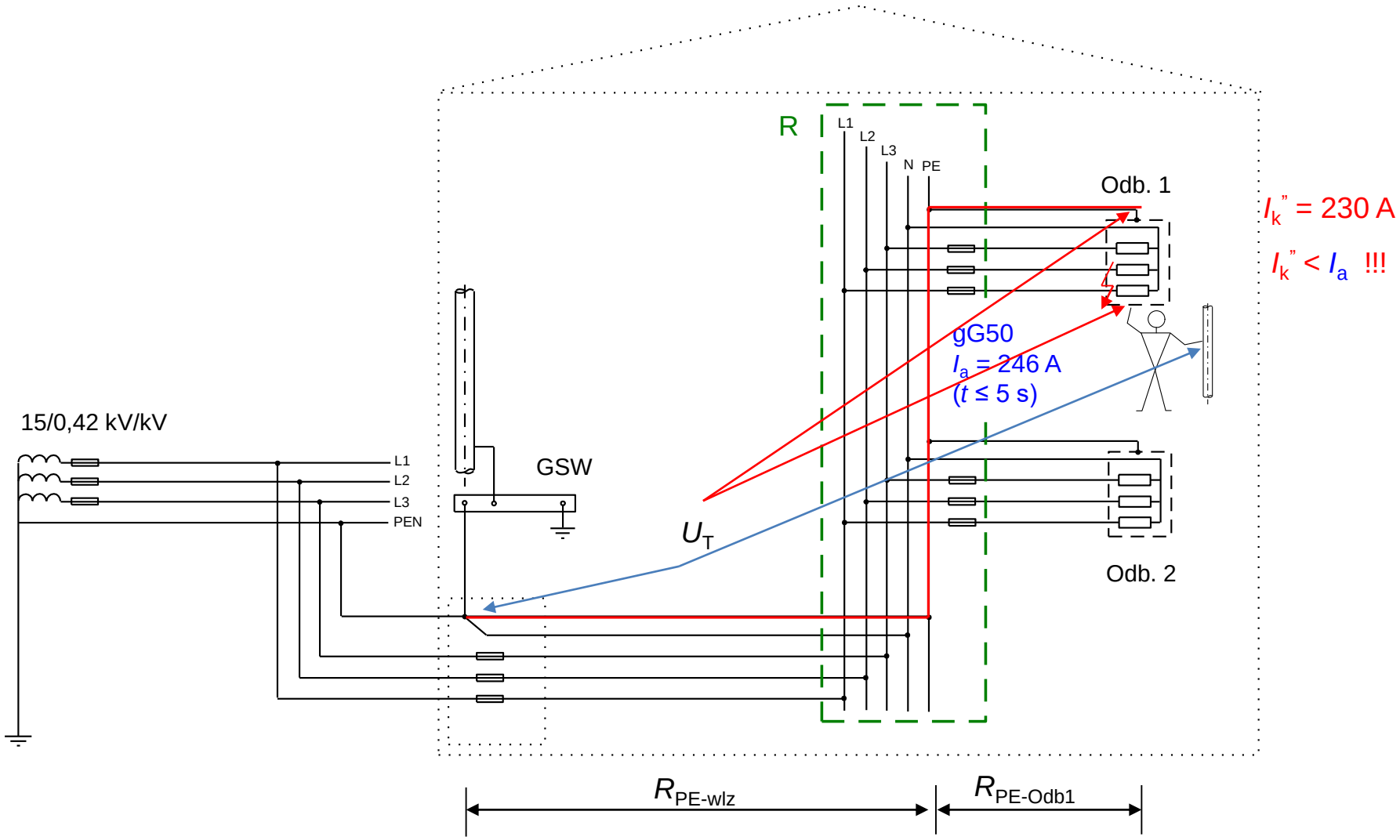
- urządzenie energoelektroniczne charakteryzuje się ograniczoną wartością prądu zwarciowego,
- urządzenie wyłączające nie wyłącza zasilania w wymaganym czasie,

to należy stosować następujące rozwiązania:

D2. W instalacjach z przekształtnikami energoelektronicznymi napięcie wyjściowe powinno być ograniczone, w wymaganym czasie, do poziomu nie wyższego niż AC 50 V lub DC 120 V.

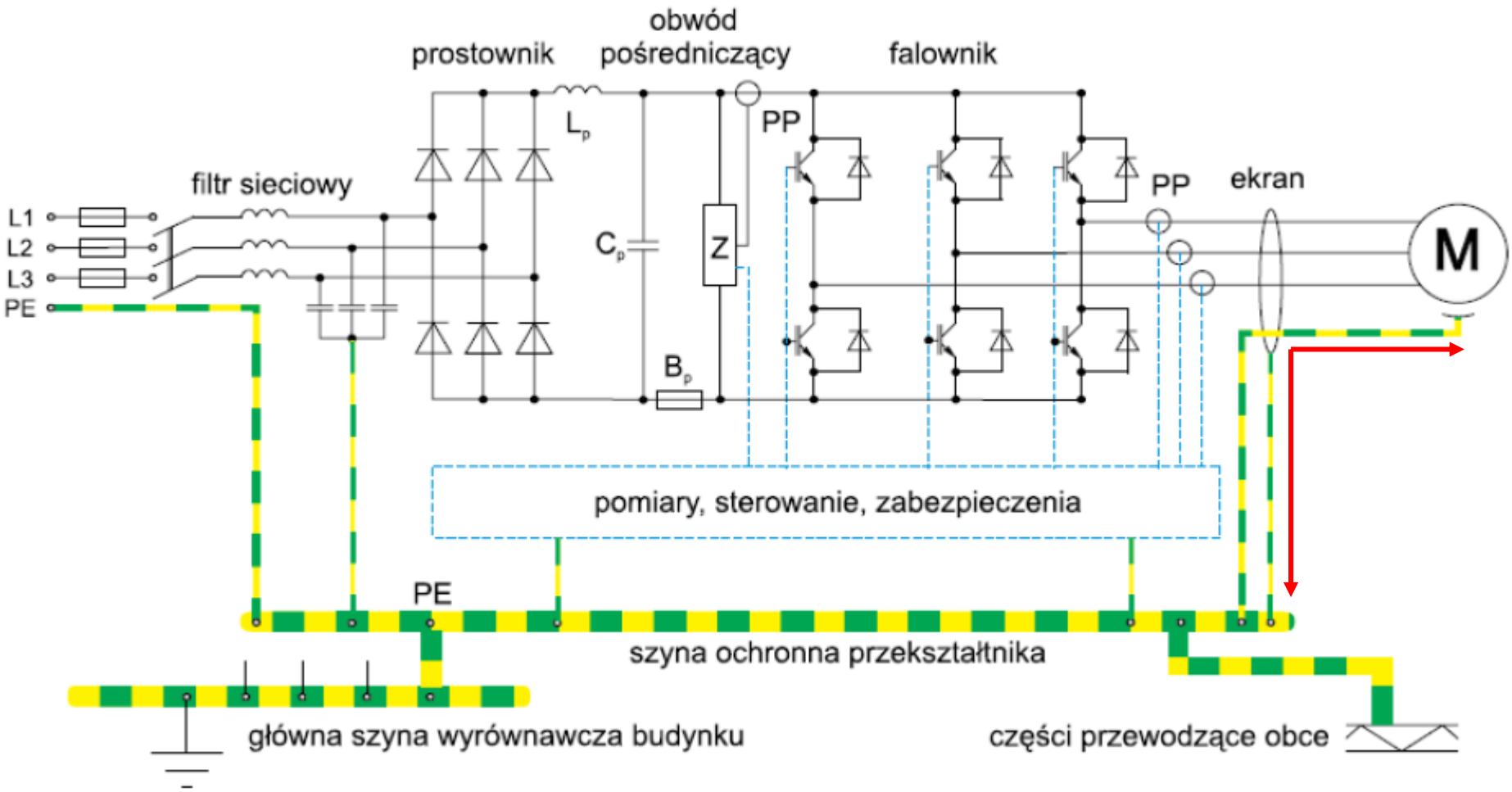
D3. Należy zastosować połączenia wyrównawcze pozwalające na uzyskanie napięć dotykowych nie wyższych niż AC 50 V lub DC 120 V.

Samoczynne wyłączanie zasilania



$$I_a \cdot (R_{PE\text{-}wlz} + R_{PE\text{-}Odb1}) \leq 50 \text{ V}$$

Samoczynne wyłączanie zasilania



Źródło: Musiał E., Zabezpieczanie silników zasilanych z przekształtników. Konferencja „Automatyka, pomiary, zakłócenia”, Jurata, 20-22 maja 2004 r., s. 135-158

PN-HD 60364-4-41

W układzie TN jako urządzenia ochronne (urządzenia wyłączające zasilanie) można stosować:

- zabezpieczenia nadprądowe,
- zabezpieczenia różnicowoprądowe (RCD).

Tekst z normy:
„UWAGA 1 Jeżeli RCD jest stosowane do ochrony przy uszkodzeniu; obwód powinien być także chroniony przez urządzenie nadprądowe zgodnie z IEC 60364-4-43.”

Czego dotyczy IEC 60364-4-43?

PN-HD 60364-5-53:2016-02

Układ TN:

Jeżeli samoczynne wyłączenie zasilania z wykorzystaniem zabezpieczenia nadprądowego nie następuje w wymaganym czasie (czas określony w tabeli arkusza 41), to należy zastosować zabezpieczenie różnicowoprądowe.

POLSKI KOMITET NORMALIZACYJNY

POLSKA NORMA

ICS 91.140.50, 29.120.50

PN-HD 60364-4-43

maj 2012

Wprowadza
HD 60364-4-43:2010, IDT
IEC 60364-4-43:2008+AC1:2008, MOD

Zastępuje
PN-HD 60364-4-43:2010

Instalacje elektryczne niskiego napięcia
Część 4-43: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa
Ochrona przed prądem przetężeniowym

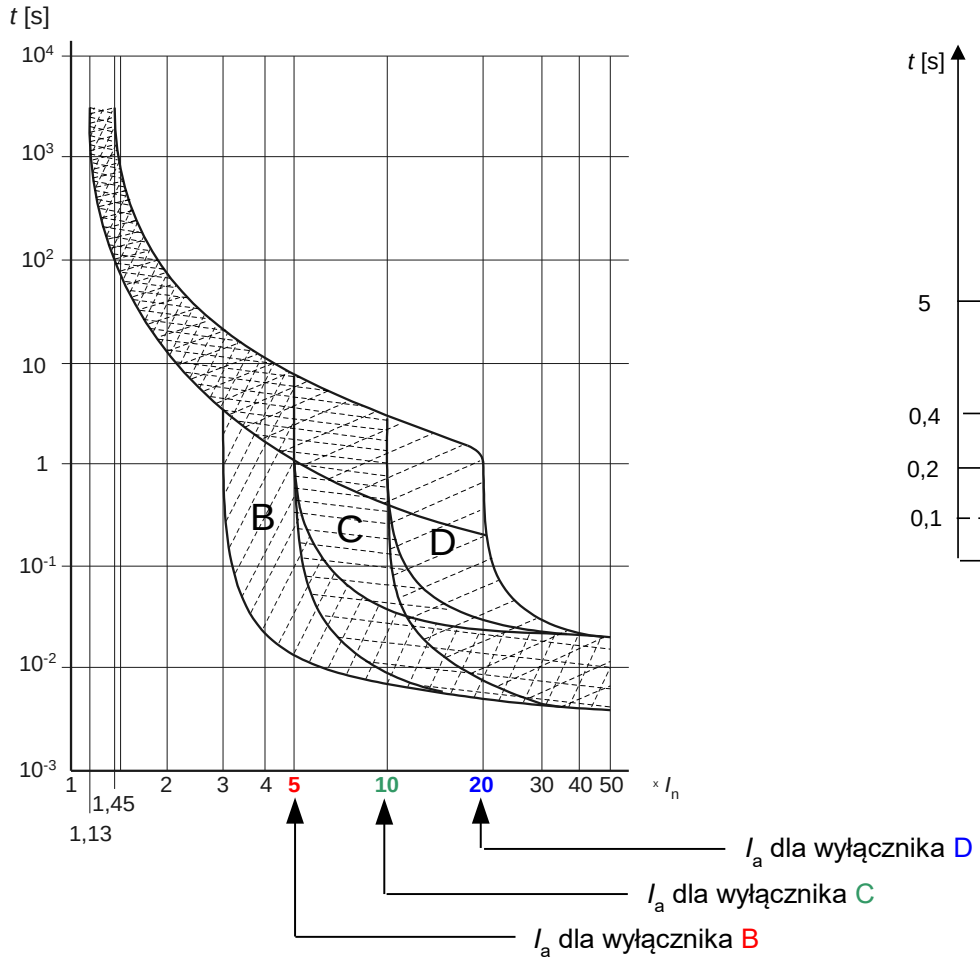
Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania

Układ sieci	Warunek skuteczności	Urządzenie wyłączające	Uwagi
TN	$Z_{sTN} \le \frac{U_o}{I_a}$	nadprądowe lub różnicowoprądowe	
TT	$Z_{sTT} \le \frac{U_o}{I_a}$	nadprądowe	
	$R_A \le \frac{U_L}{I_a}$	różnicowoprądowe	
IT bez przewodu N	$Z_{sIT} \le \frac{\sqrt{3} \cdot U_o}{2 \cdot I_a}$	nadprądowe	przy dwumiejscowym zwarciu z ziemią
IT z przewodem N	$Z'_{sIT} \le \frac{U_o}{2 \cdot I_a}$		

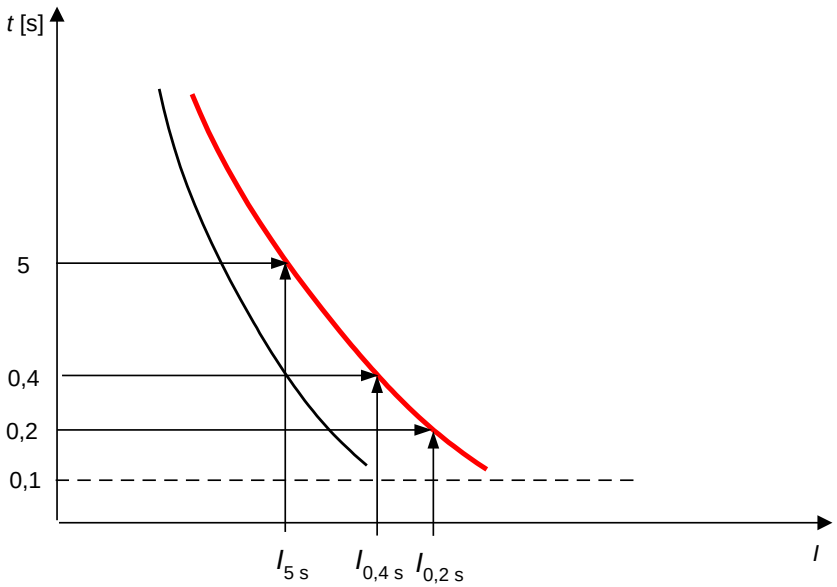
I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia, A,
U_o – napięcie nominalne sieci względem ziemi (w układzie IT napięcie między fazą i punktem neutralnym), V,
U_L – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale, V,
R_A – rezystancja uziemienia przewodu ochronnego, Ω,
Z_{sTN} – impedancja pętli zwarciowej w układzie TN obejmująca przewód liniowy (fazowy) i przewód ochronny, Ω,
Z_{sTT} – impedancja (rezystancja) pętli zwarciowej w układzie TT obejmująca uziemienie przewodu ochronnego odbiornika (odbiorników) i uziemienie w stacji zasilającej, Ω,
Z_{sIT} – impedancja pętli zwarciowej od źródła zasilania do rozpatrywanego odbiornika obejmująca przewód liniowy (fazowy) i przewód ochronny, Ω,
Z'_{sIT} – impedancja pętli zwarciowej od źródła zasilania do rozpatrywanego odbiornika obejmująca przewód neutralny i przewód ochronny, Ω

Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – prąd wyłączający

Wyłączniki nadprądowe instalacyjne



Bezpieczniki



Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – prąd wyłączający

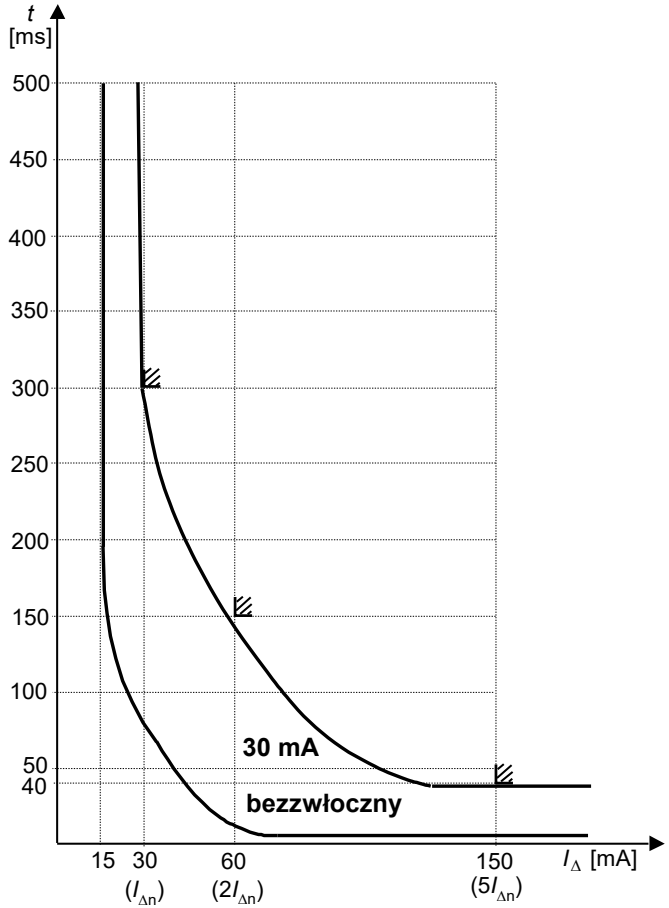
Prąd wyłączający I_a wyłączników różnicowoprądowych w zależności od wymaganego czasu wyłączania zasilania

Czas wyłączania s	Prąd wyłączający I_a wyłączników różnicowoprądowych					
	bezzwłocznych i krótkozwłocznych			selektywnych		
	AC	A ($I_{\Delta n} \geq 30$ mA)	B	AC	A	B
0,2	$2I_{\Delta n}$	$2{,}8I_{\Delta n}$	$4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2{,}8I_{\Delta n}$	$4I_{\Delta n}$
0,4	$I_{\Delta n}$	$1{,}4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2{,}8I_{\Delta n}$	$4I_{\Delta n}$
1	$I_{\Delta n}$	$1{,}4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$I_{\Delta n}$	$1{,}4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$
5	$I_{\Delta n}$	$1{,}4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$I_{\Delta n}$	$1{,}4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$

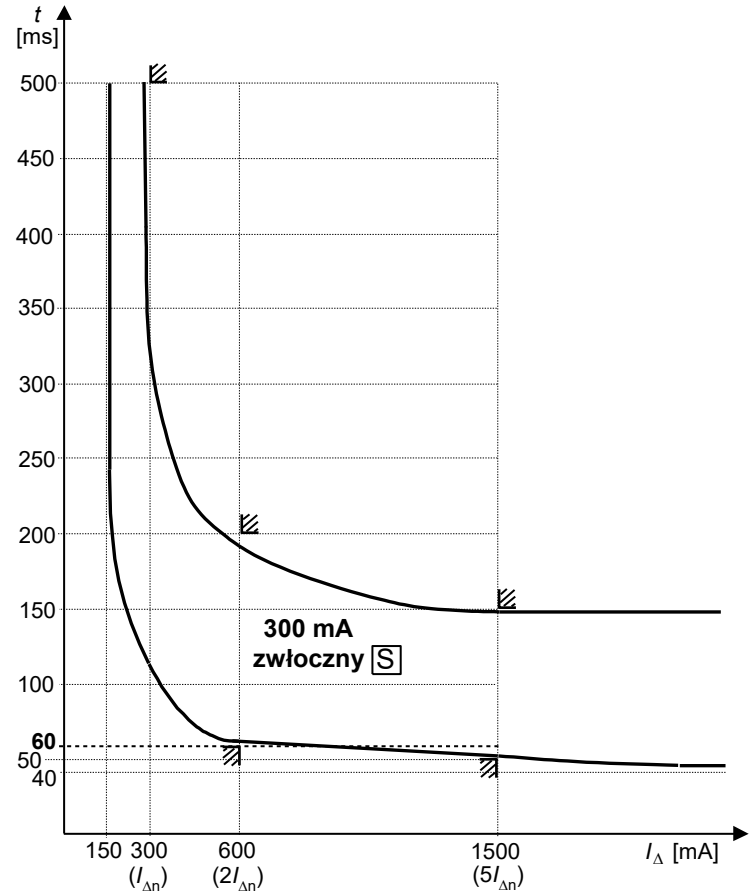
Podane krotności dotyczą prądu różnicowego:
- przemiennego przy wyzwalaniu AC,
- pulsującego stałego przy wyzwalaniu A,
- stałego o pomijalnym tętnieniu przy wyzwalaniu B

Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – prąd wyłączający

a)



b)

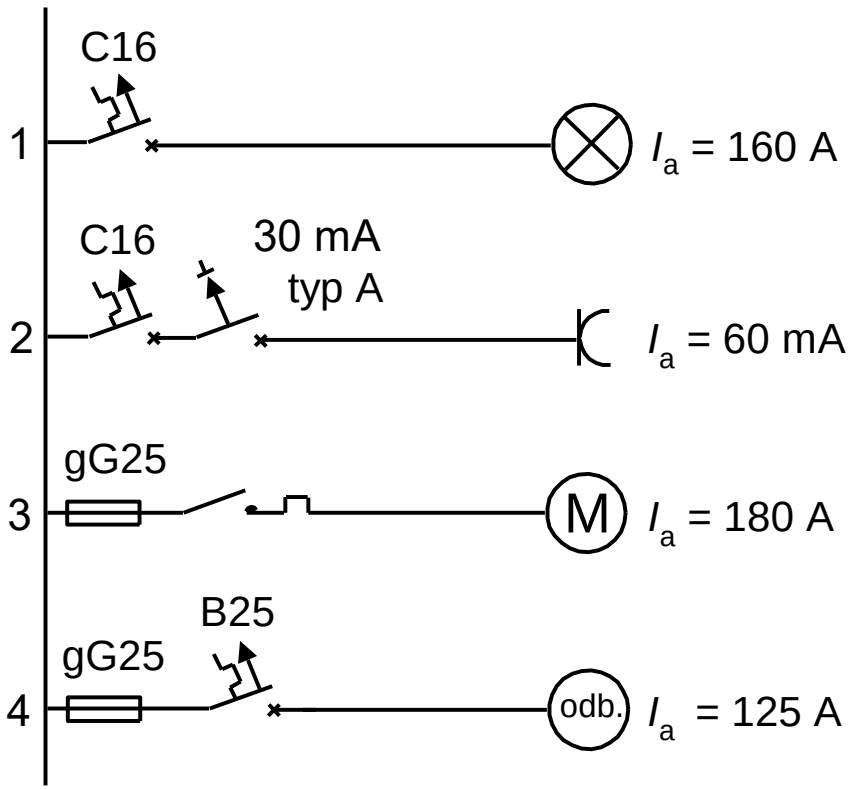


Charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników różnicowoprądowych (prąd różnicowy sinusoidalny):
a) bezzwłocznego o $I_{\Delta n}$ = 30 mA, b) zwłocznego o $I_{\Delta n}$ = 300 mA

Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – prąd wyłączający

Dwa zabezpieczenia w obwodzie a prąd wyłączający I_a

Układ TN $$Z_s \leq \frac{U_o}{I_a}$$



Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar impedancji pętli zwarciowej a przyrost temperatury przewodów

PN-HD 60364-6 Załącznik D – informacyjny!

$$Z_s(m) \le \boxed{\frac{2}{3}} \times \frac{U_0}{I_a}$$

Warunek ma uwzględniać zwiększenie się rezystancji przewodów pod wpływem wzrostu temperatury

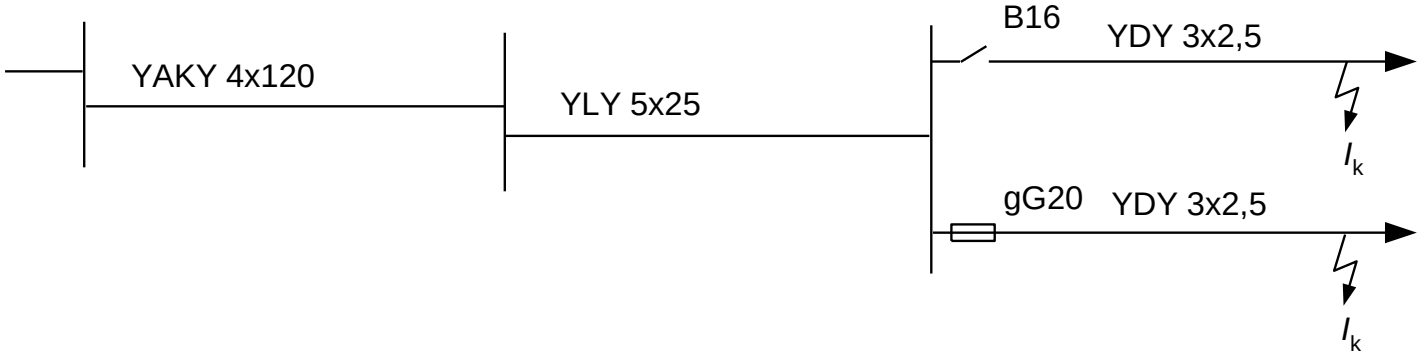
ale…

Nie ma praktycznego znaczenia w przypadku zastosowania wyłączników różnicowoprądowych jako urządzeń wyłączających.

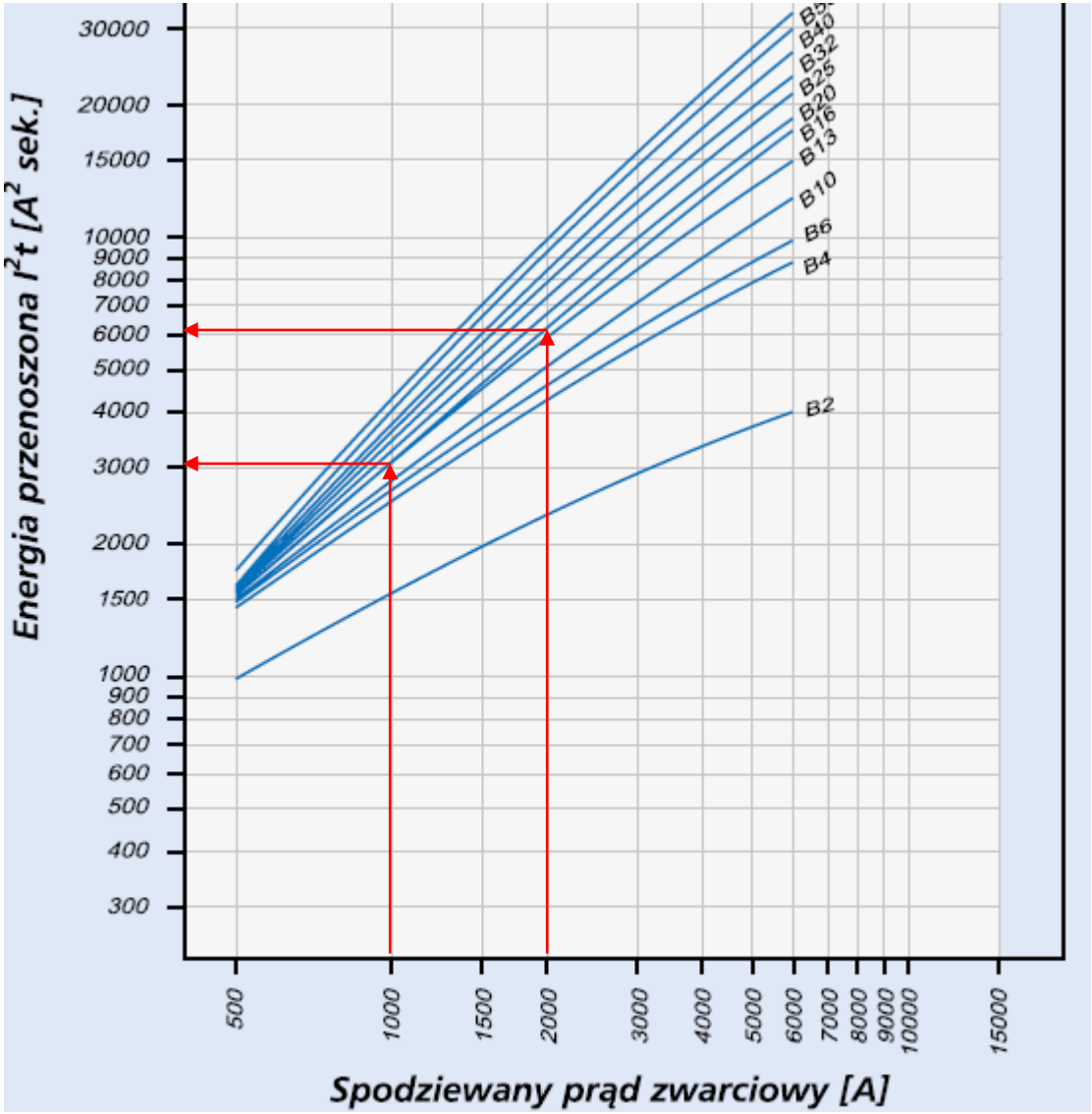
Przy przepływie dużego prądu zwarciowego i założeniu nagrzewania adiabatycznego, przewody osiągają następujący przyrost temperatury (uwzględnienie I^2t zabezpieczenia nadprądowego):

$$\upsilon = (\tau_{dz} - \tau_{dd}) \cdot \frac{I^2 t}{(k \cdot s)^2 \cdot 1}$$

dla kabli YAKY: τ_{dz} = 160 ºC, τ_{dd} = 70 ºC, k = 76 A/mm^2
dla przewodów YDY (YLY): τ_{dz} = 160 ºC, τ_{dd} = 70 ºC, k = 115 A/mm^2

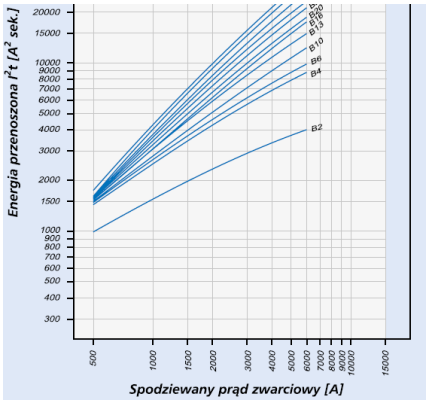


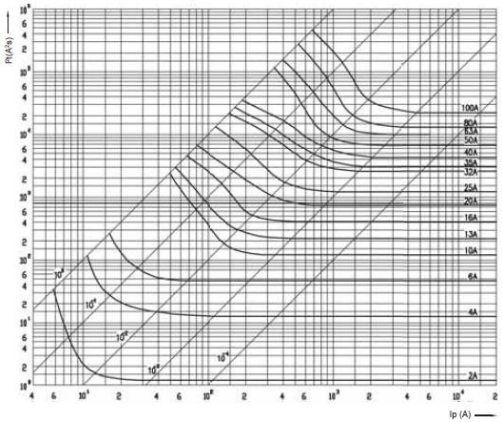
Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar impedancji pętli zwarciowej a przyrost temperatury przewodów



Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar impedancji pętli zwarciowej a przyrost temperatury przewodów

Przewód/kabel	Przyrost temperatury, K Zabezpieczenie B16		Przyrost temperatury, K Zabezpieczenie gG20 (I^2t = 2500 A^2s)	
	I_k = 1 kA	I_k = 2 kA	I_k = 1 kA	I_k = 2 kA
YDY 3x2,5	3,5	6,8	2,7	2,7
YLY 5x25	0,035	0,068	0,027	0,027
YAKY 4x120	0,0035	0,0068	0,0027	0,0027





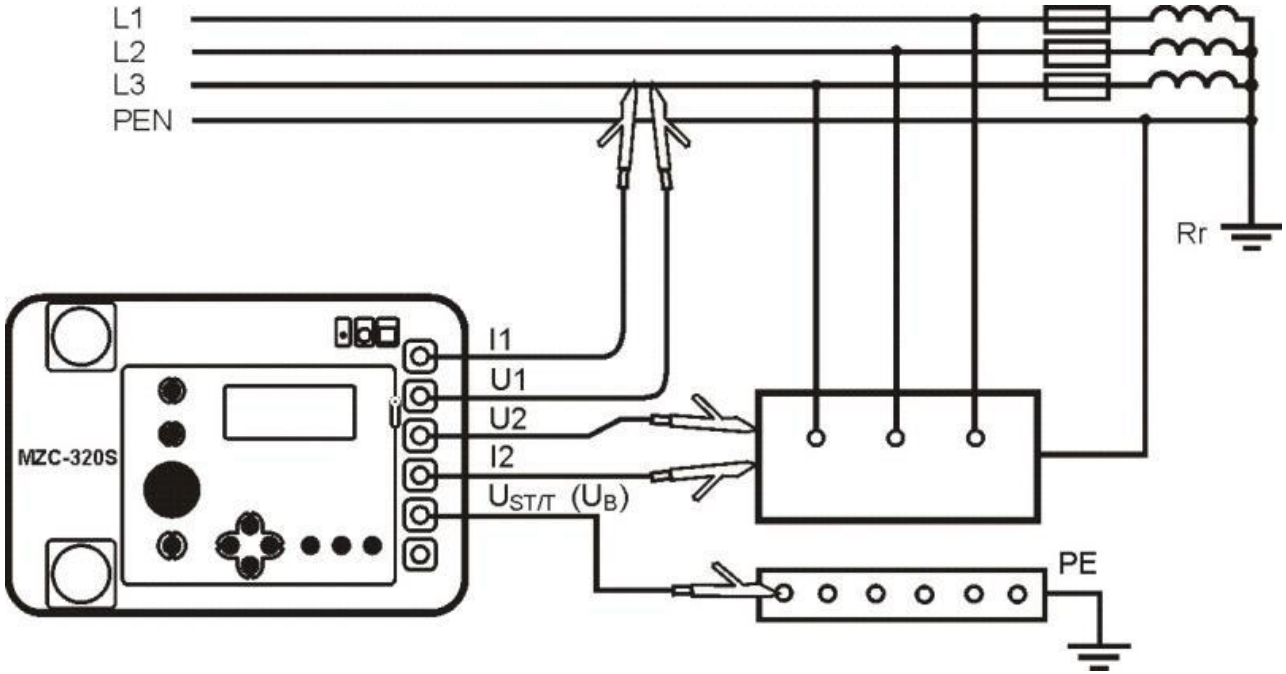
Przy pomiarze wystarczy zastosować miernik o stosunkowo dużym prądzie pomiarowym.

Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar napięć dotykowych w układzie TN

Brak wyłączenia zasilania w czasie określonym przez normę

Pomiar napięcia dotykowego spodziewanego U_{ST}

Uwaga na zasadę wykonywania pomiarów napięć dotykowych!

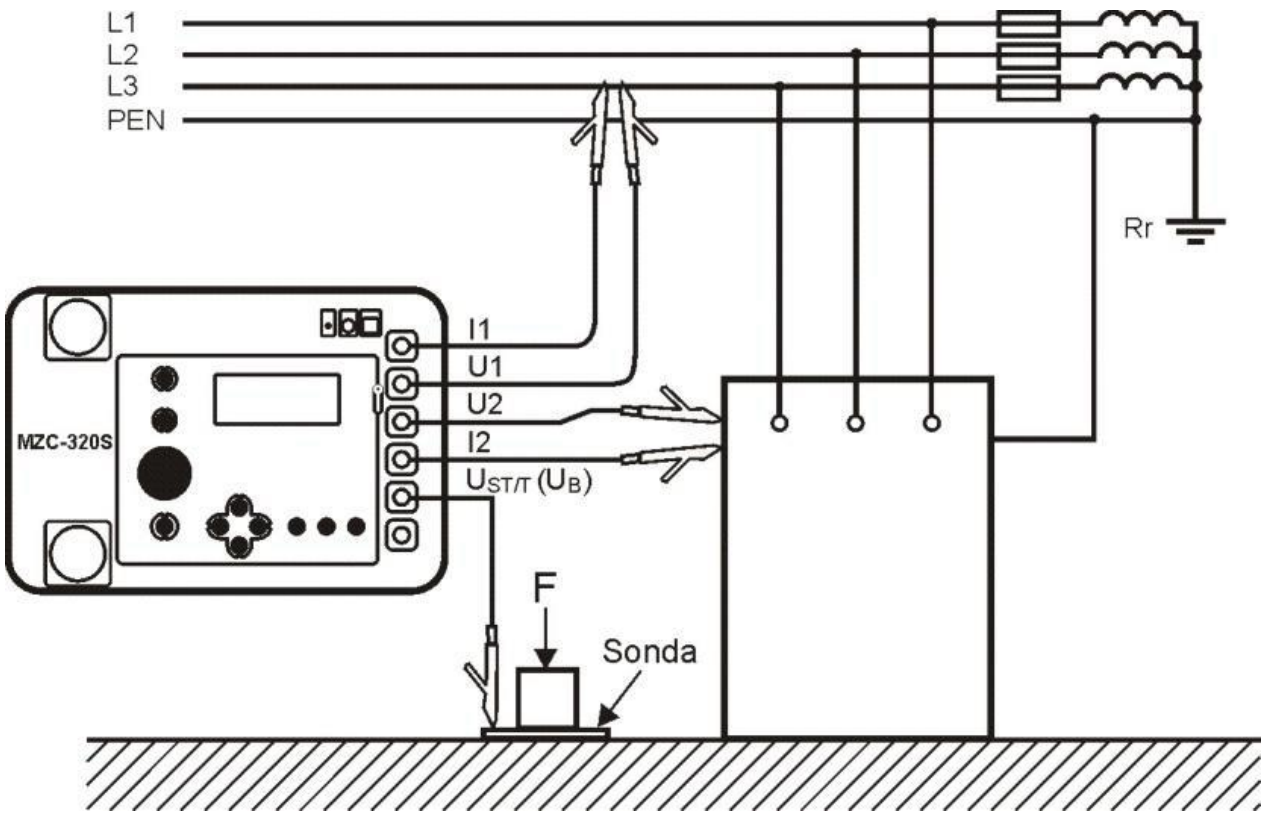


Źródło: Mierniki SONEL MZC-320S i MZC-330S. Instrukcja obsługi.

Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar napięć dotykowych w układzie TN

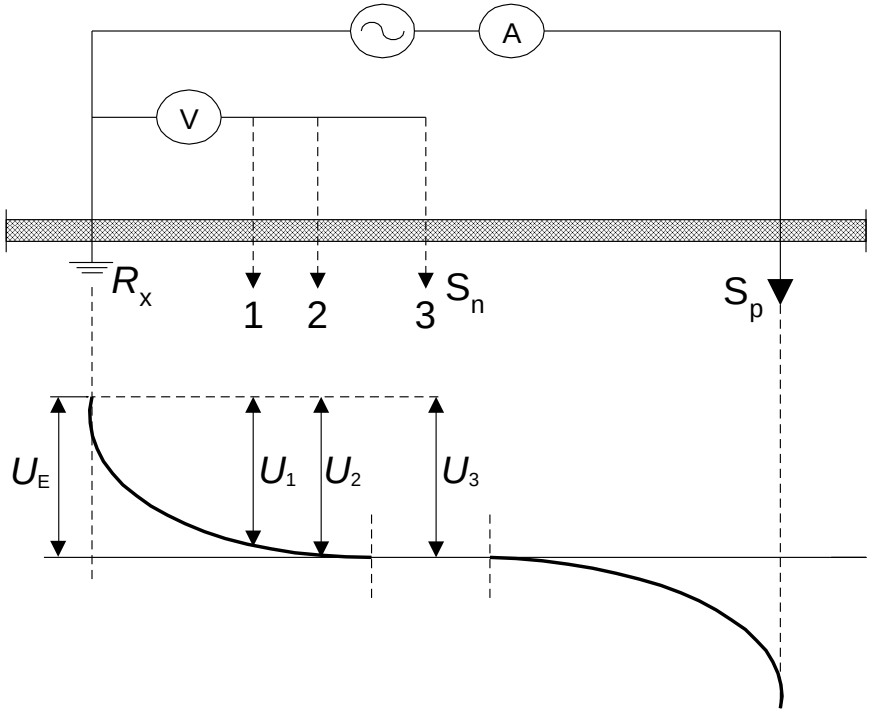
Brak wyłączenia zasilania w czasie określonym przez normę

Pomiar napięcia dotykowego rażeniowego U_T

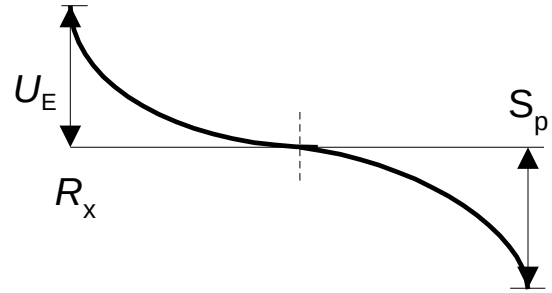


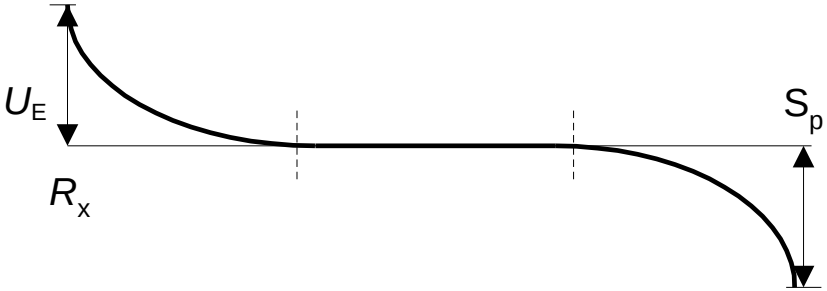
Źródło: Mierniki SONEL MZC-320S i MZC-330S. Instrukcja obsługi.

Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar rezystancji uziemienia

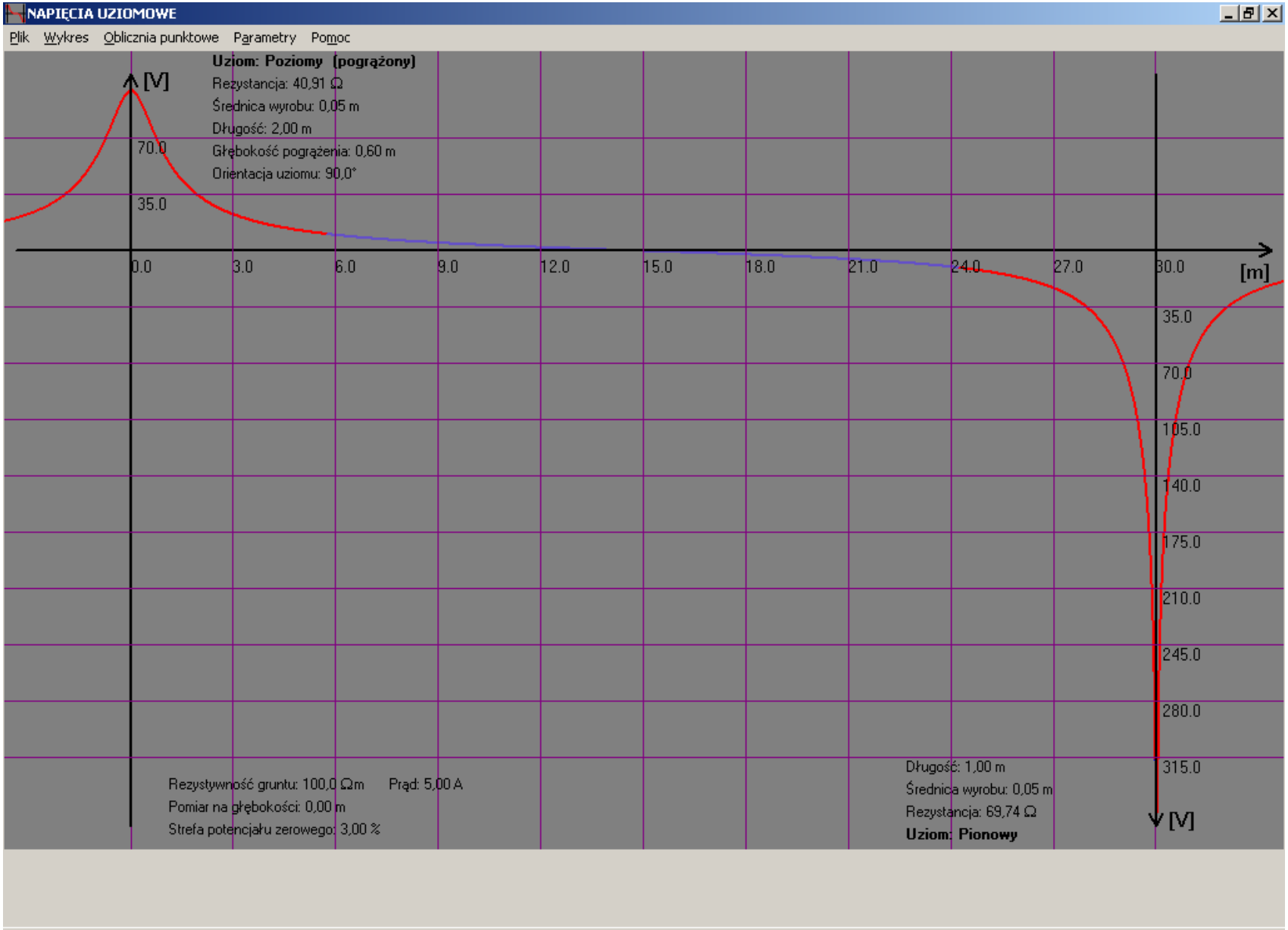


Strefa potencjału zerowego

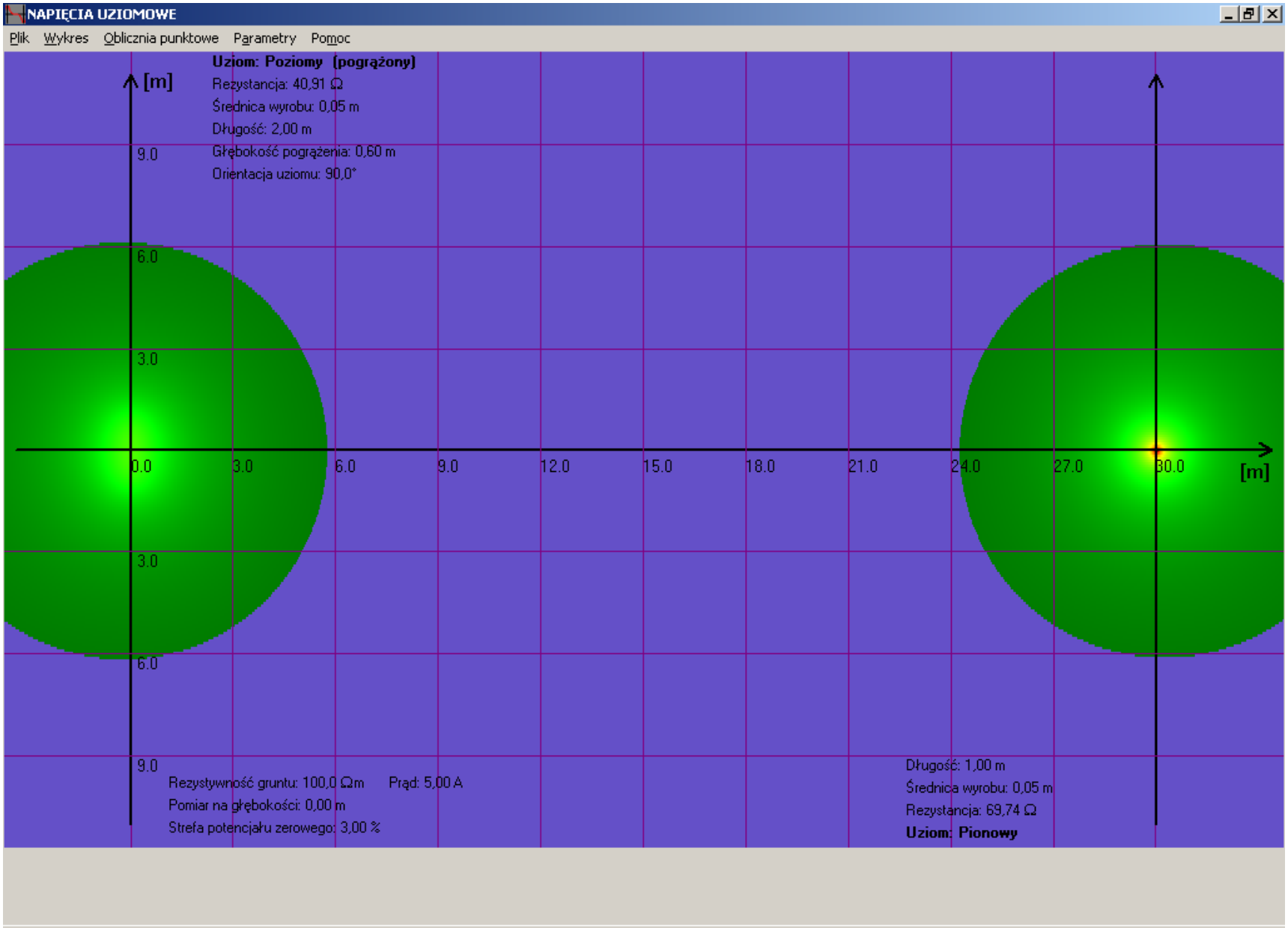




Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar rezystancji uziemienia

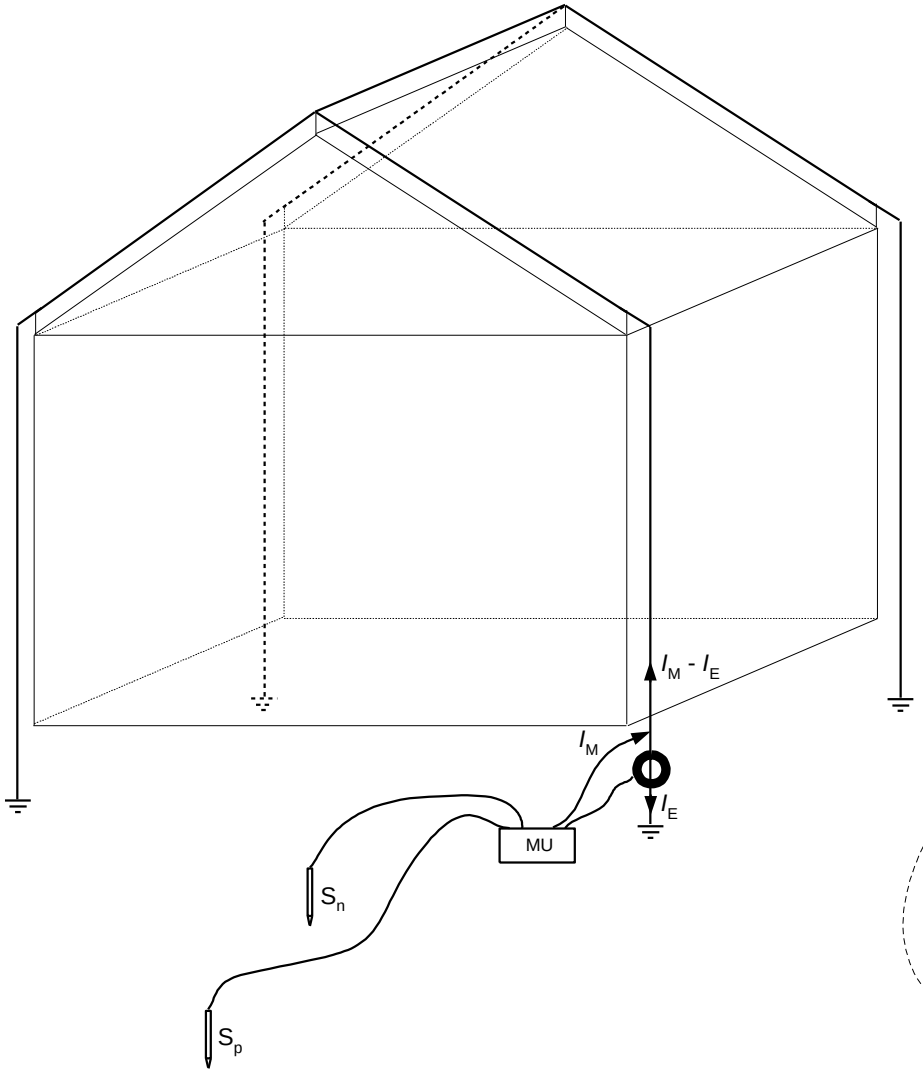


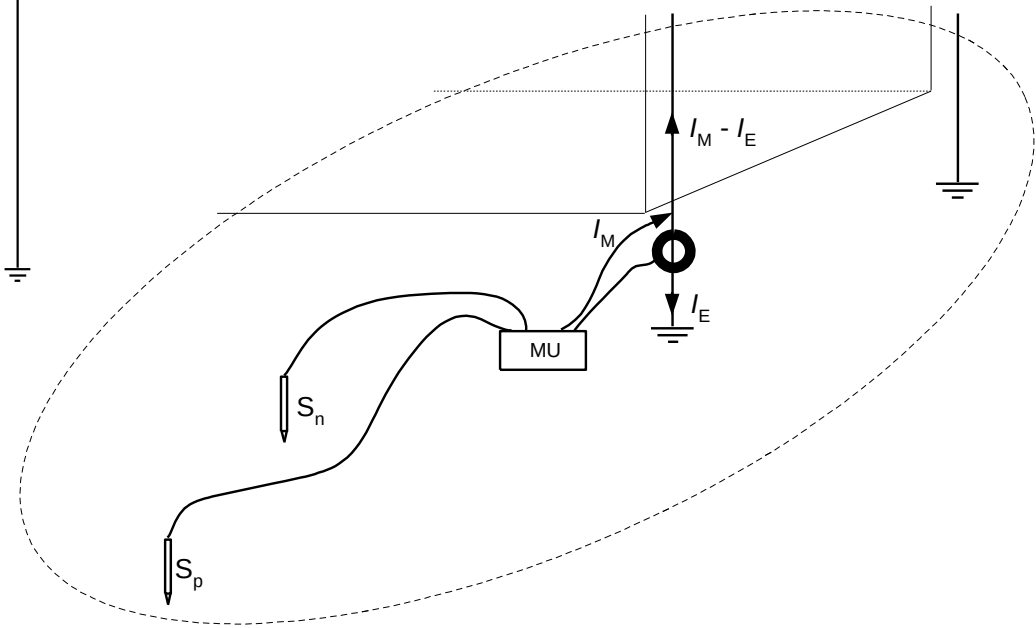
Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar rezystancji uziemienia



Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar rezystancji uziemienia

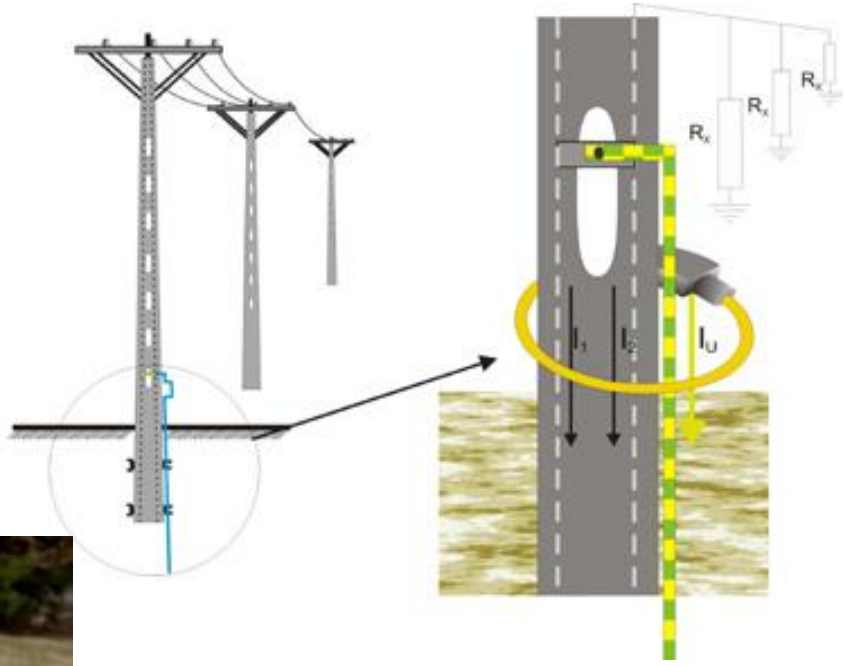
Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych





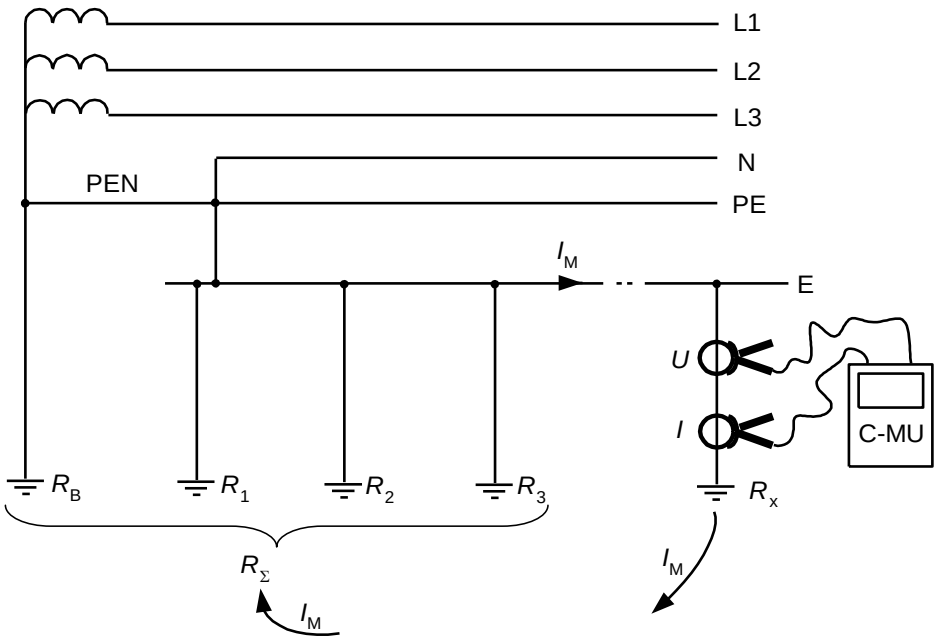
Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączania zasilania – pomiar rezystancji uziemienia

Elastyczne cęgi pozwalające objąć przewód uziemiający wraz z konstrukcją słupa



Źródło: Materiały firmy SONEL

Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

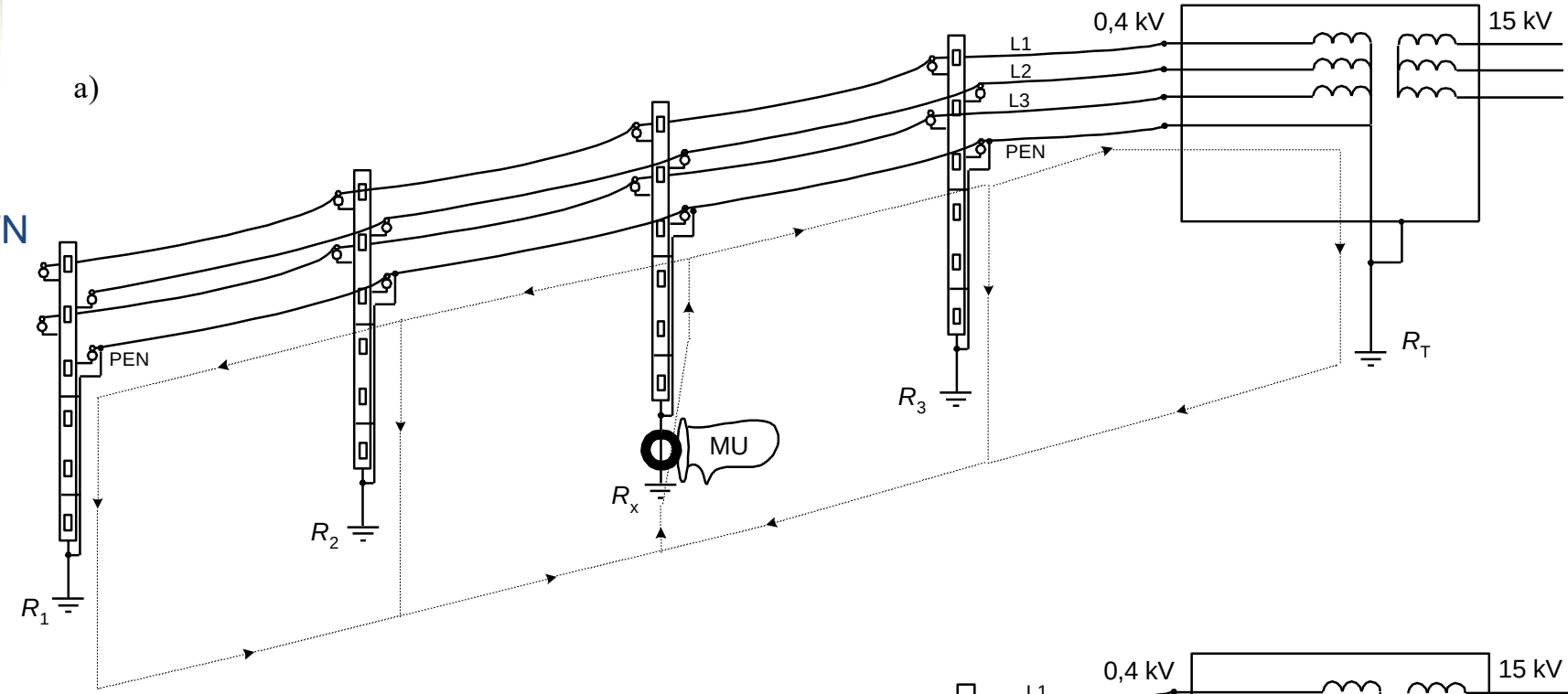


Pomiar rezystancji pętli metodą cęgową:
I_M – prąd pomiarowy,
R_B – uziom w stacji zasilającej,
R_x – uziom badany,
R_1, R_2, R_3 – dodatkowe uziomy przyłączone do głównej szyny wyrównawczej,
C-MU – cęgowy miernik uziemień

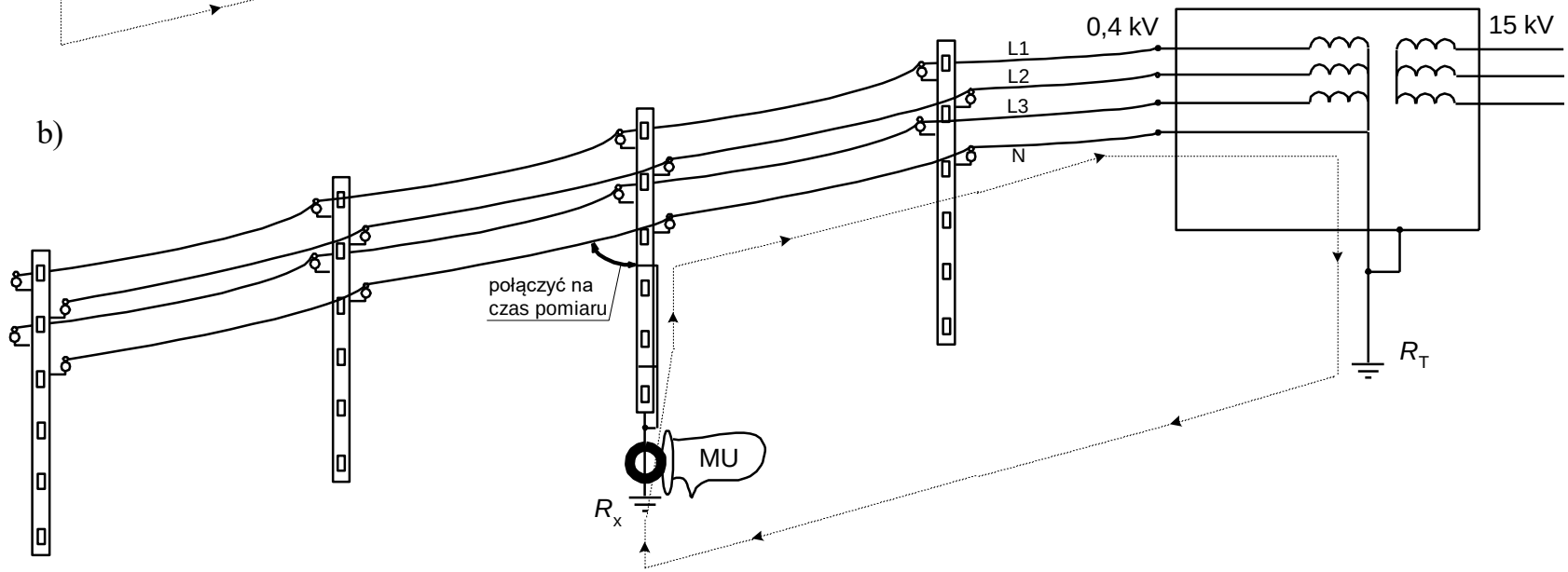
Metoda nie wymaga stosowania sondy prądowej ani sondy napięciowej. Miernik jest wyposażony w cęgowy transformator napięciowy, który indukuje napięcie w pętli obejmującej uziom badany R_x oraz pozostałe równolegle połączone uziomy o wypadkowej rezystancji uziemienia R_Σ. Drugi przetwornik cęgowy jest przekładnikiem prądowym indukcyjnym, który mierzy prąd o częstotliwości pomiarowej (innej niż częstotliwość sieci). W układzie tym mierzy się sumę rezystancji $R_x + R_\Sigma$, zatem uzyskuje się wartość większą niż poszukiwana (błąd w kierunku bezpiecznym). Jeżeli wartość zmierzona nie przekracza dopuszczalnej, to nie ma konieczności wykonywania dokładniejszych pomiarów.

Pomiar rezystancji uziemienia metodą cęgową

Układ TN



Układ TT



Z jakich norm korzystać?

Publiczną sieć oświetlenia ulicznego (drogowego) należy podzielić na dwie części:

1) sieć rozdzielczą − odcinek od głównej rozdzielnicy oświetlenia do skrzynki przyłączowej słupów;

W przypadku tego odcinka można stosować postanowienia normy *N SEP-E-001:2012 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym*.
Temu odcinkowi stawia się złagodzone wymagania, m.in. co do największego dopuszczalnego czasu wyłączania zasilania.
Ten odcinek nie podlega wymaganiom normy PN-HD 60364. W arkuszu PN-HD 60364-1 jest napisane:
„11.3 HD 60364-1 nie ma zastosowania w przypadku:
(..)
e) publicznych instalacji oświetlenia ulic, które są częścią publicznej sieci energetycznej;”

2) instalację odbiorczą − odcinek od zacisków wyjściowych zabezpieczenia w skrzynce przyłączowej słupa do oprawy oświetleniowej (opraw oświetleniowych) włącznie;

W przypadku tego odcinka należy stosować postanowienia normy PN-HD 60364.

Oświetlenie zewnętrzne – sieci oświetlenia ulicznego

A co z wyłącznikami różnicowoprądowymi w sieci oświetlenia ulicznego (drogowego)?

Nie ma obowiązku ich stosowania i lepiej ich unikać.

W odniesieniu do oświetlenia zewnętrznego norma PN-HD 60364 nakazuje stosowanie wyłączników różnicowoprądowych wysokoczułych w następujących instalacjach:

PN-HD 60364-7-714:2012 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-714: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Instalacje oświetlenia zewnętrznego.
Punkt 714.411.3.3
Obwody oświetleniowe budek telefonicznych, wiat przystanków komunikacji publicznej, planów miast i miejscowości, reklam i podobnych powinny być objęte ochroną uzupełniającą za pomocą wyłącznika różnicowoprądowego o $I_{\Delta n} \leq 30$ mA.

Nie dotyczy to sieci oświetlenia ulicznego (drogowego)!

Zmiana układu TT na TN w sieci oświetlenia ulicznego

Sieć rozdzielcza	Instalacja odbiorcza	Uwagi
TT (stara)	TN-S (nowa)	Brak możliwości wprowadzenia takiego rozwiązania. Konieczne zastosowanie transformatora.
TN-C, TN-S (nowa)	TT (stara)	Może funkcjonować. Jest to wyspa TT w układzie TN.
TN-C (stara)	TN-S (nowa)	Może funkcjonować.
TN-S (nowa)	TN-C (stara)	Niedopuszczalne.

Urządzenia wysokiego napięcia

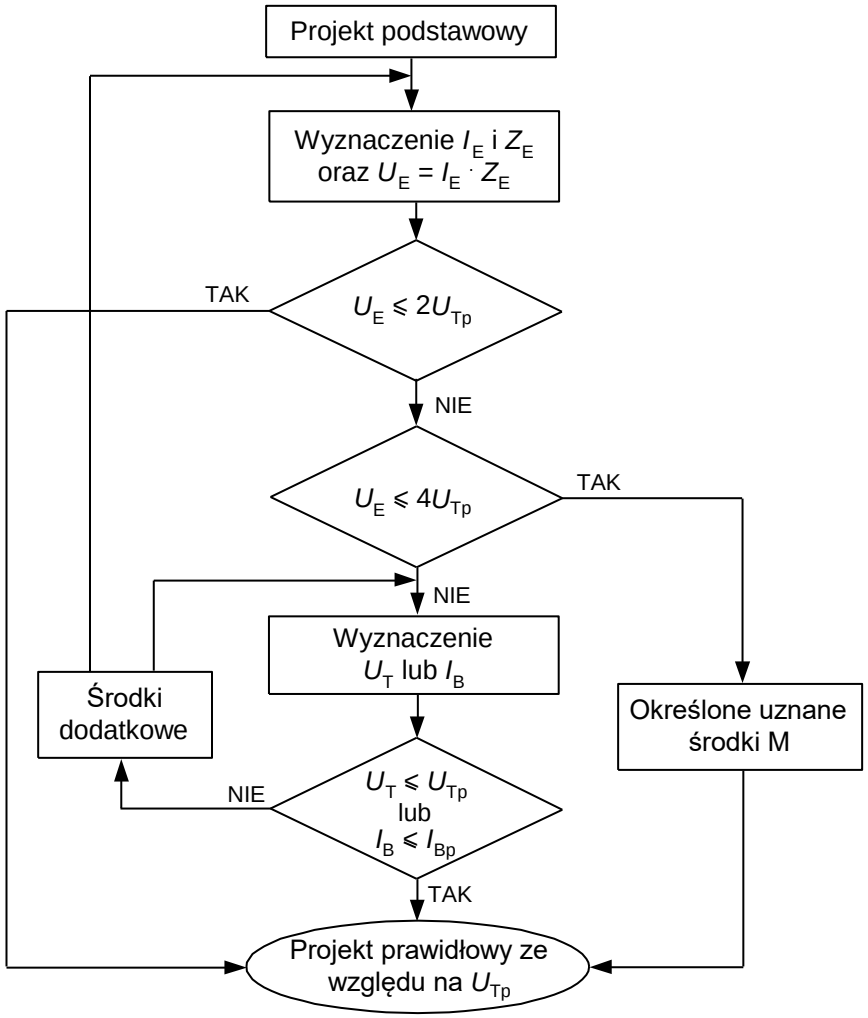
Urządzenie	Ochrona podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)	Ochrona przy uszkodzeniu (ochrona przy dotyku pośrednim)
Słup linii WN, słup linii SN bez aparatury łączeniowej, bez transf. SN/nn	- *	+ (PN-EN 50341)
Słup SN z aparaturą łączeniową, bez transf. SN/nn	+ (PN-EN 61936-1)	+ (PN-EN 50522, PN-EN 50341)
Rozdzielnice WN (NN, SN)	+ (PN-EN 61936-1)	+ (PN-EN 50522)
Stacje z transf. SN/nn	+ (PN-EN 61936-1 PN-HD 60364-4-442)	+ (PN-EN 50522 PN-HD 60364-4-442)

*Przyjmuje się, że ochrona ta jest zapewniona, jeżeli linie spełniają wymagania odpowiednich norm dotyczących projektowania i budowy.

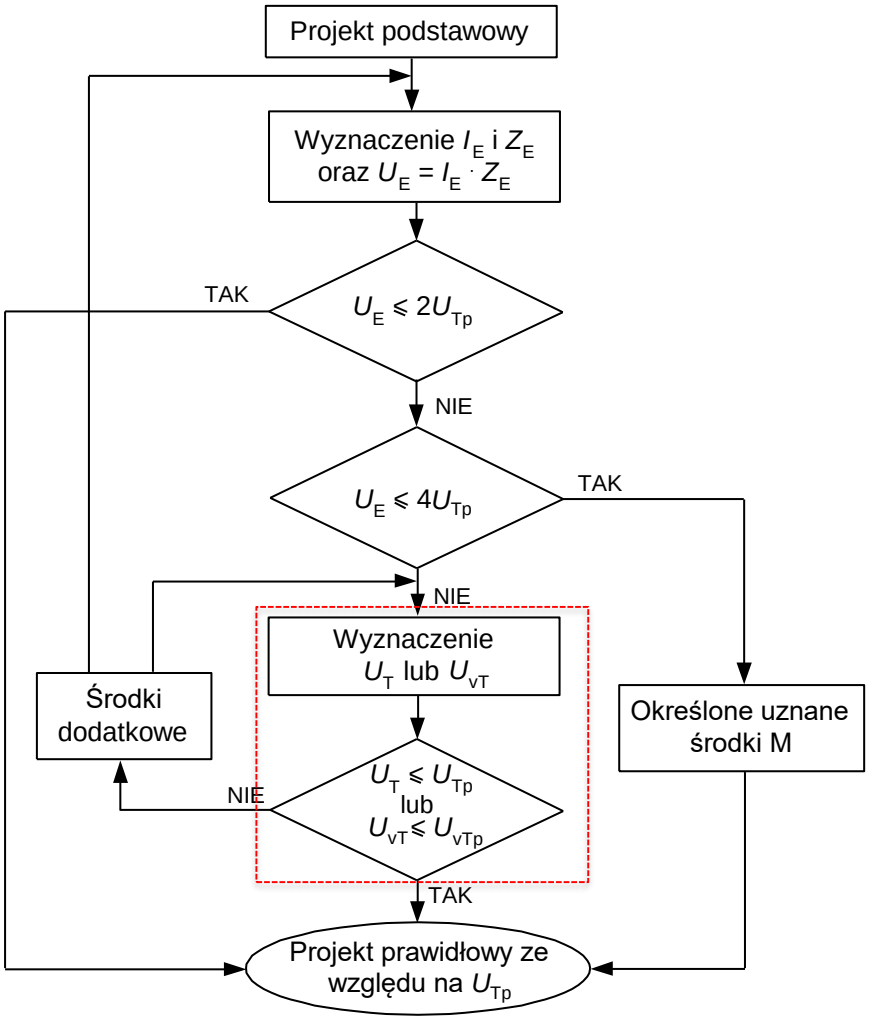
Stacje wysokiego napięcia

Procedura oceny instalacji uziemiającej ze względu na największe dopuszczalne napięcia uziomowe i największe dopuszczalne napięcia dotykowe

wg PN-EN 50522:2011

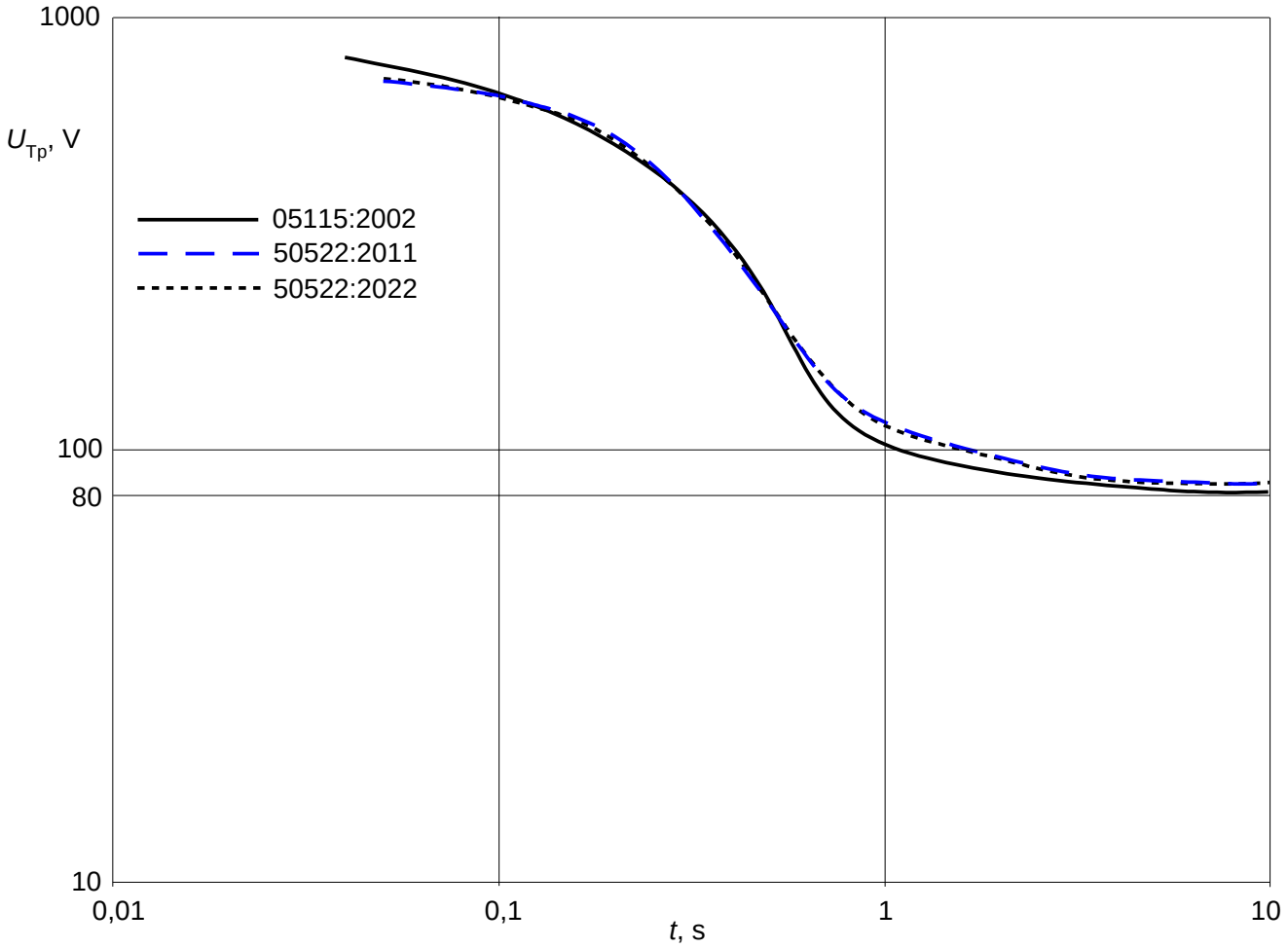


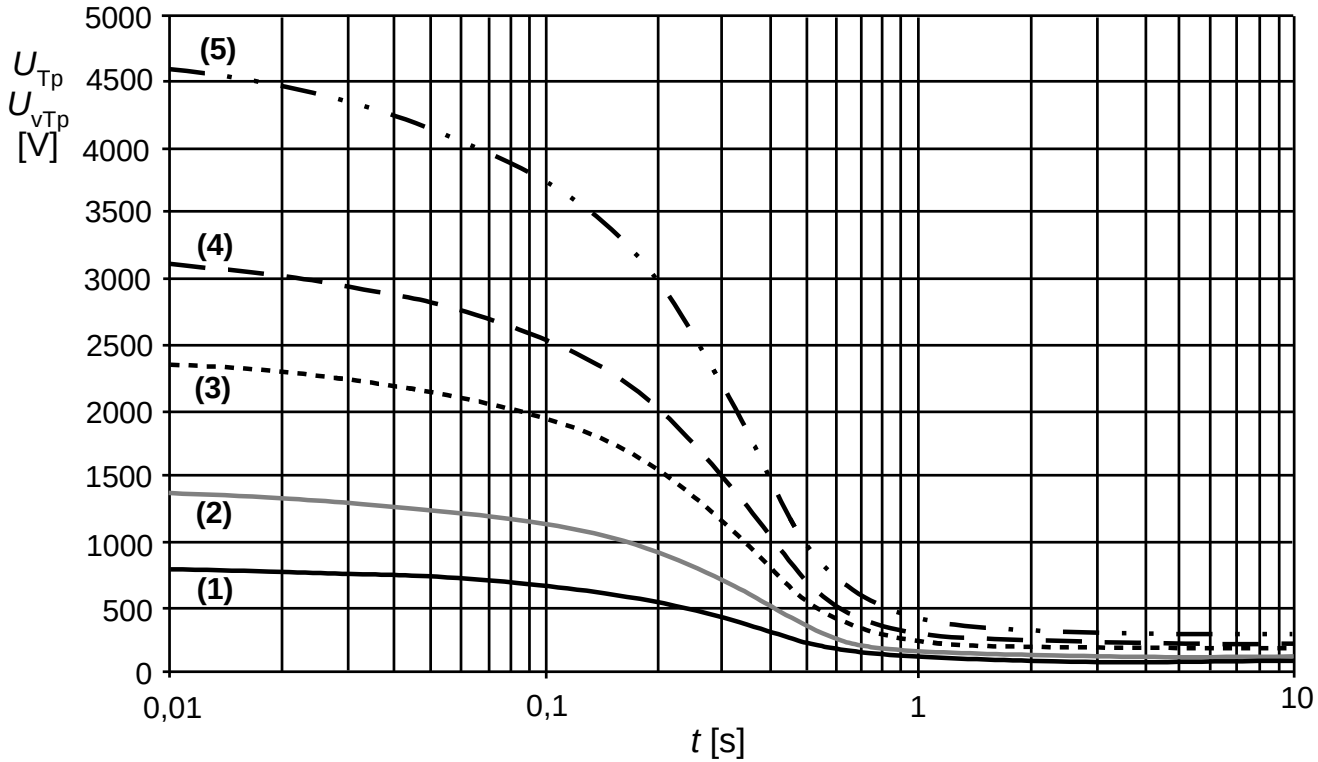
wg PN-EN 50522:2022



Porównanie największych dopuszczalnych napięć dotykowych rażeniowych U_{Tp}

Wymagania norm: PN-E-05115:2002, PN-EN 50522:2011, PN-EN 50522:2022





Przykład środków M:

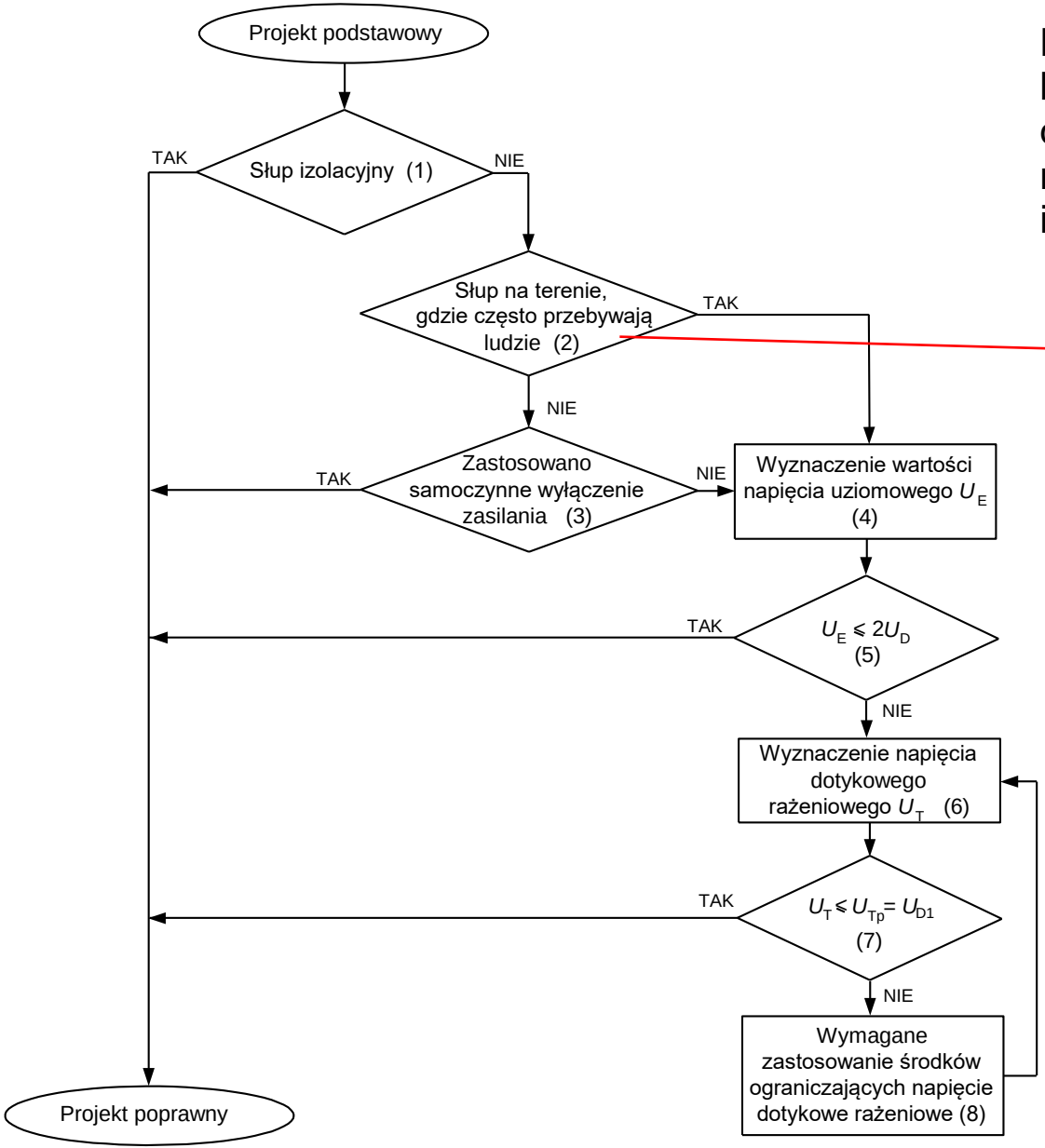
1) Zastosowanie ogrodzenia z materiału nieprzewodzącego lub siatki drucianej pokrytej tworzywem sztucznym (również z gołymi przewodzącymi słupkami).

2) W przypadku ogrodzenia wykonanego z materiału przewodzącego, zastosowanie sterowania potencjałem za pomocą połączonego z ogrodzeniem uziomu poziomego ułożonego na zewnątrz ogrodzenia w odległości około 1 m i na głębokości nie większej niż 0,5 m.

Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} (krzywa 1) i największe dopuszczalne napięcia dotykowe spodziewane U_{vTp} (krzywe 2, 3, 4, 5) z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji R_a, np. obuwia (R_{a1}), izolacyjnego stanowiska ($R_{a2} = 1{,}5\rho_s$)

krzywa (1) – bez dodatkowych rezystancji
krzywa (2) – $R_a = 750\ \Omega$ ($R_{a1} = 0\ \Omega$ $\rho_s = 500\ \Omega$m)
krzywa (3) – $R_a = 1750\ \Omega$ ($R_{a1} = 1000\ \Omega$ $\rho_s = 500\ \Omega$m)
krzywa (4) – $R_a = 2500\ \Omega$ ($R_{a1} = 1000\ \Omega$ $\rho_s = 1000\ \Omega$m)
krzywa (5) – $R_a = 4000\ \Omega$ ($R_{a1} = 1000\ \Omega$ $\rho_s = 2000\ \Omega$m)

Linie napowietrzne wysokiego napięcia

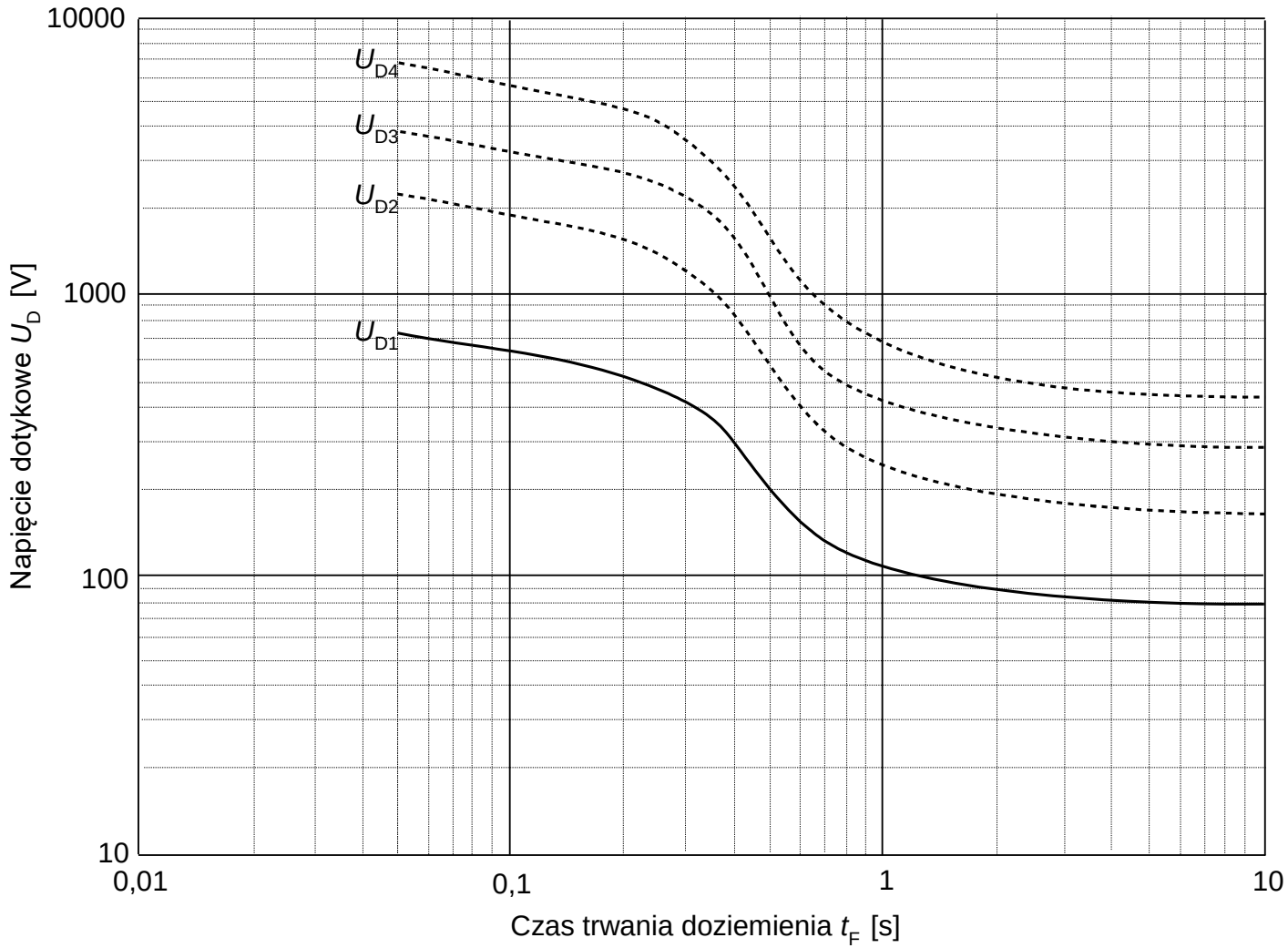


Procedura oceny instalacji uziemiającej linii elektroenergetycznej ze względu na dopuszczalne napięcia uziomowe, napięcia dotykowe spodziewane i napięcia dotykowe rażeniowe

„gdzie często przebywają ludzie” lub – zgodnie z PN-EN 50341-2-22 – blisko (do 20 m) budynków, dróg i ulic (w miejscach o b. dużym prawdopodobieństwie pojawienia się ludzi)

Uwaga:
Zgodnie z PN-EN 50341-2-22 przewodzące konstrukcje wsporcze linii napowietrznych o napięciu 110 kV lub wyższym powinny być wyposażone w instalację uziemiającą.

Linie napowietrzne wysokiego napięcia

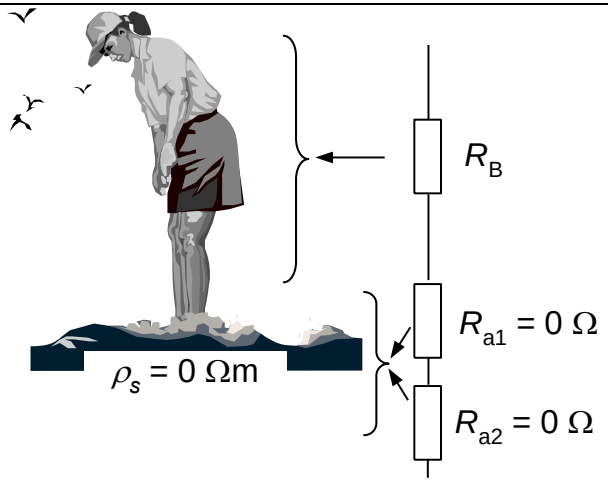


Największe dopuszczalne napięcia dotykowe U_D (U_{D1} – napięcie dotykowe rażeniowe, U_{D2}, U_{D3}, U_{D4} – napięcia dotykowe spodziewane) w funkcji czasu trwania zwarcia doziemnego t_F z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji R_a (obuwia, izolacyjnego stanowiska)

Linie napowietrzne wysokiego napięcia

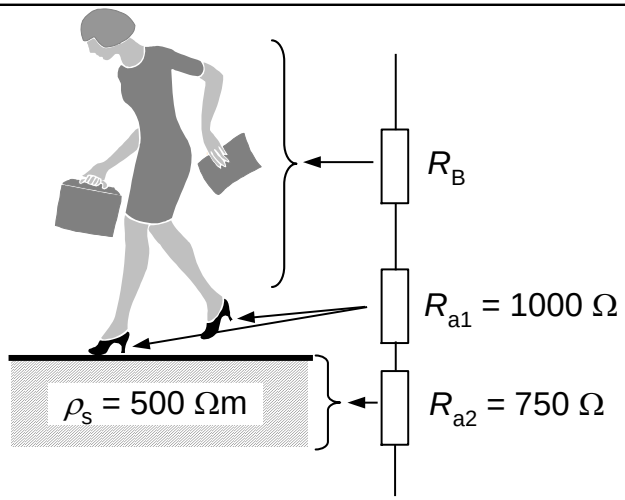
a)

<u>Krzywa</u> U_{D1} – place zabaw, baseny kąpielowe, place kempingowe, tereny rekreacyjne itp., gdzie ludzie mogą chodzić boso. Jedyną rezystancją ograniczającą prąd rażeniowy jest rezystancja ciała człowieka.



b)

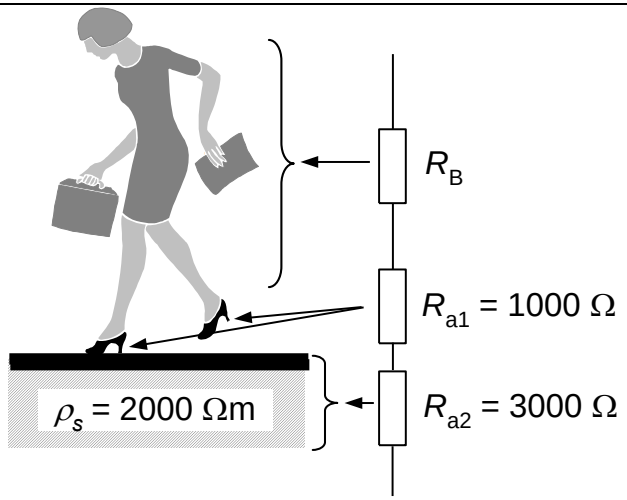
<u>Krzywa</u> U_{D2} – chodniki, drogi publiczne, place parkingowe itp. W tych miejscach można założyć, że ludzie noszą obuwie. Bierze się pod uwagę dodatkową rezystancję 1750 Ω.



Linie napowietrzne wysokiego napięcia

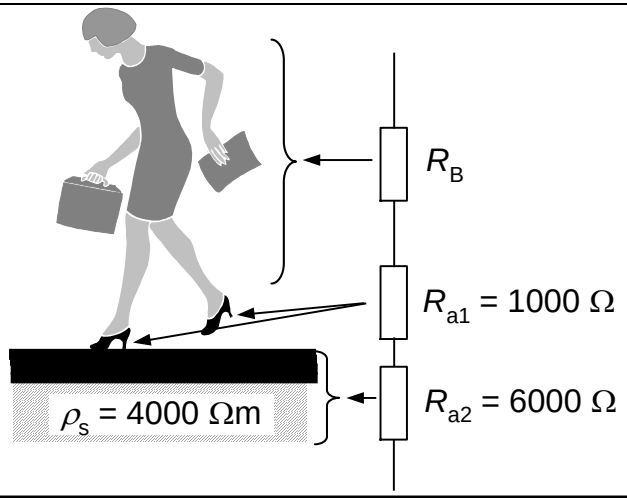
c)

<u>Krzywa</u> U_{D3} – miejsca, w których można założyć, że ludzie noszą obuwie i rezystywność gruntu jest duża np. 2000 Ωm. Bierze się pod uwagę dodatkową rezystancję 4000 Ω.



d)

<u>Krzywa</u> U_{D4} – miejsca, w których można założyć, że ludzie noszą obuwie i rezystywność gruntu jest bardzo duża np. 4000 Ωm. Bierze się pod uwagę dodatkową rezystancję 7000 Ω.



Linie napowietrzne wysokiego napięcia

Rezystancja uziemienia każdego słupa linii elektroenergetycznej wyposażonej w przewody odgromowe oraz rezystancja uziemienia ograniczników przepięć i iskierników zainstalowanych na słupach tych linii nie powinna przekraczać wartości podanych w tablicy poniżej.

Największa dopuszczalna rezystancja uziemienia słupów linii elektroenergetycznych

Napięcie nominalne linii kV	Rezystancja uziemienia [Ω] w gruncie o rezystywności:	
	$\rho < 1000\ \Omega m$	$\rho \geq 1000\ \Omega m$
≤ 110	10	15*
220 i 400	15	20**

* nie dotyczy uziemień słupów przed stacją na odcinku 0,5 km
** nie dotyczy uziemień słupów przed stacją na odcinku 1 km

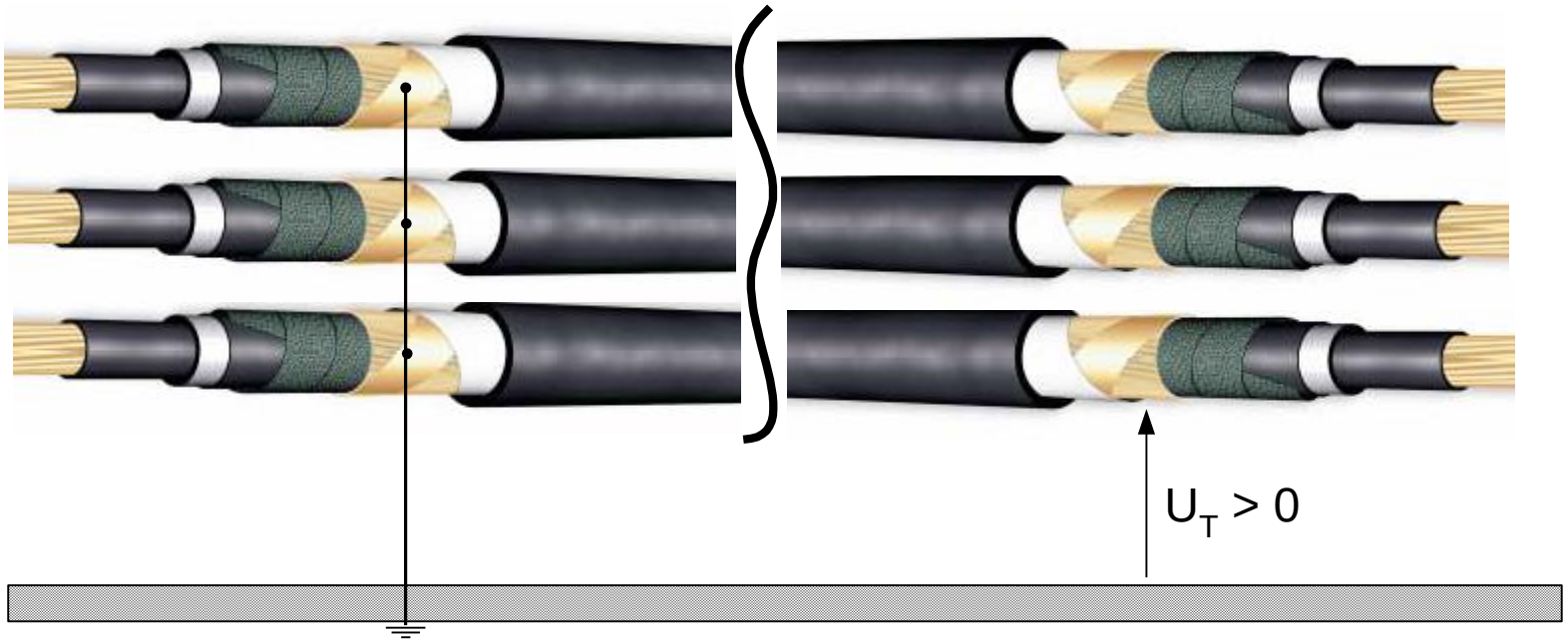
W uzasadnionych technicznie przypadkach, kiedy trudno jest uzyskać wartość rezystancji uziemienia podaną w tablicy, dopuszcza się większe wartości z zastrzeżeniem, że zapewniona będzie nie mniejsza skuteczność ochrony odgromowej.

W normie PN-E 05100-1:1998 podano przykładowe rozwiązanie:
„odpowiednie zwiększenie poziomu izolacji”

Linie kablowe – napięcia indukowane w żyłach powrotnych

Uziemienie jednostronne

W żyle powrotnej ułożonej równolegle do przewodu przewodzącego prąd podczas normalnej pracy indukuje się napięcie, które zwiększa się wraz z długością linii kablowej. Napięcie indukowane w żyle powrotnej kabli zależy od budowy kabli i ich ułożenia.



Linie kablowe – napięcia indukowane w żyłach powrotnych

Uziemienie jednostronne

$$\underline{U}_{1\mathrm{p}} = j\omega \cdot \underline{I} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \left(-\frac{1}{2} \ln \frac{2m_{12}^2}{d \cdot m_{31}} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{2m_{31}}{d} \right)$$

$$\underline{U}_{2\mathrm{p}} = j\omega \cdot \underline{I} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \left(+\frac{1}{2} \ln \frac{4m_{12} \cdot m_{23}}{d^2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{2m_{23}}{m_{12}} \right)$$

$$\underline{U}_{3\mathrm{p}} = j\omega \cdot \underline{I} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \left(-\frac{1}{2} \ln \frac{2m_{23}^2}{d \cdot m_{31}} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{2m_{31}}{d} \right)$$

I – prąd w żyle roboczej, d – średnia średnica żyły powrotnej, m_{12}, m_{23}, m_{13} – odległości pomiędzy osiami odpowiednich kabli układu trójfazowego

Uziemienie jednostronne

Na przykład dla kabla XRUHKXS 1×1000RM/120 mm^2 64/110(123) kV, przy prądzie obciążenia równym 1000 A, napięcie indukowane U w żyle powrotnej na końcu linii kablowej o długości 1 km może osiągnąć względem ziemi wartość:

- w układzie trójkątnym symetrycznym: U = 55 V,
- w układzie płaskim z kablami stykającymi się: U = 85 V,
- w układzie płaskim z odstępem w świetle równym średnicy kabla: U = 126 V,
- w układzie płaskim z odstępem w świetle równym 200 mm: U = 152 V.

Dane z pomiarów dla kabli średniego napięcia w układzie trójkątnym symetrycznym i obciążeniu symetrycznym:
Kabel YHAKXS 1×120/50 mm^2 8,7/15 kV U = 20 V/km przy I_{obc} = 340 A
Kabel YHKXS 1×70/25 mm^2 12/20 kV U = 21 V/km przy I_{obc} = 320 A

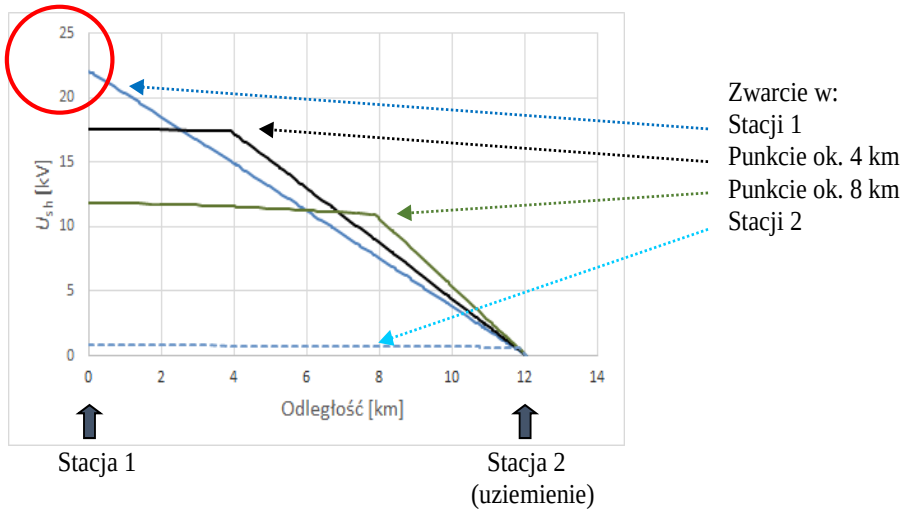
Jednostronne uziemienie przy znacznej długości kabla może powodować istotne zagrożenie porażeniowe dla obsługi, a nawet dla osób postronnych, które mogłyby się znaleźć w pobliżu linii. Ponadto ten sposób uziemienia sprawia, że przy zwarciu doziemnym prąd zwarciowy pochodzący od tej linii kablowej nie powraca żyłą powrotną kabla, ale ziemią przez inne uziemienia, co również stwarza zagrożenie porażeniowe (współczynnik redukcyjny $r_E \approx 1$).

Linie kablowe – napięcia indukowane w żyłach powrotnych

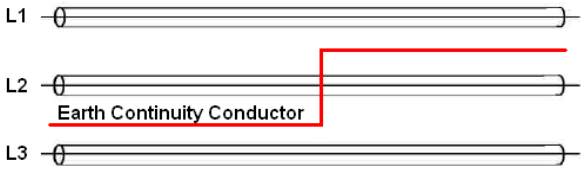
Uziemienie jednostronne

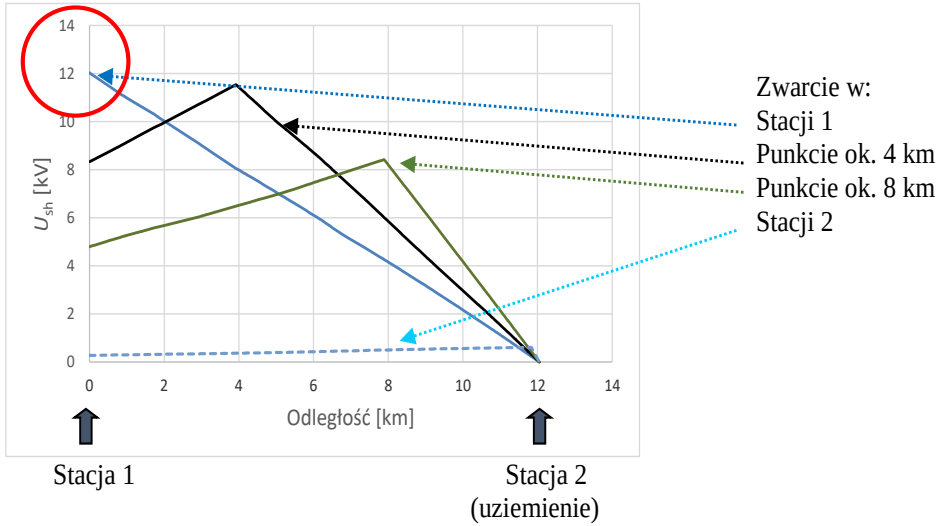
Napięcia indukowane w żyłach powrotnych przy zwarciu jednofazowym

Układ bez przewodu ECC
(ang. *Earth Continuity Conductor*)



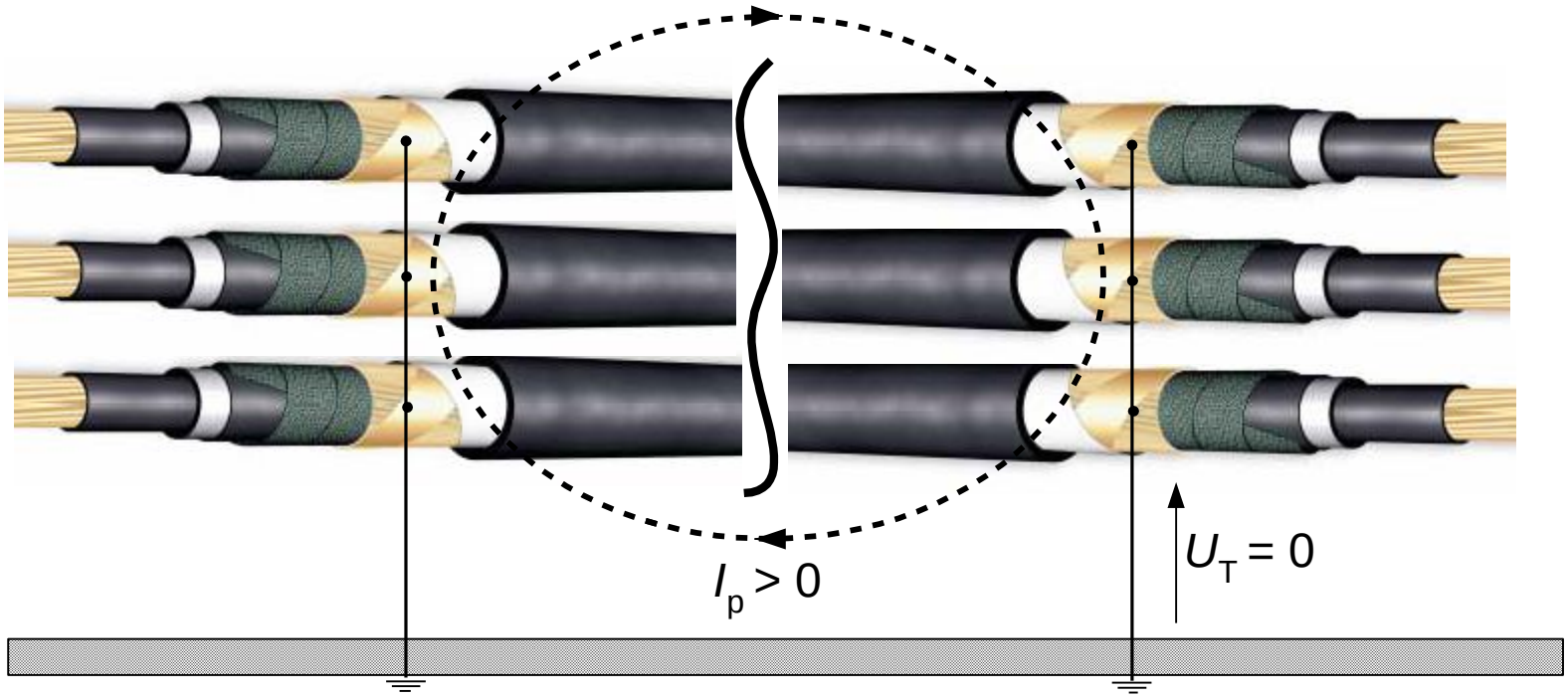
Układ z przewodem ECC





Linie kablowe – napięcia indukowane w żyłach powrotnych

Uziemienie dwustronne



I_p – prądy indukowane płynące w żyłach powrotnych

Prądy te wywołują straty mocy (generowanie dodatkowego strumienia cieplnego), co powoduje konieczność redukcji prądu obciążenia żyły roboczej.
W skrajnych przypadkach straty mocy wywołane prądami indukowanymi mogą być większe niż straty wywołane prądem roboczym.

Linie kablowe – napięcia indukowane w żyłach powrotnych

Wpływ sposobu uziemienia żył powrotnych na obciążalność długotrwałą kabli

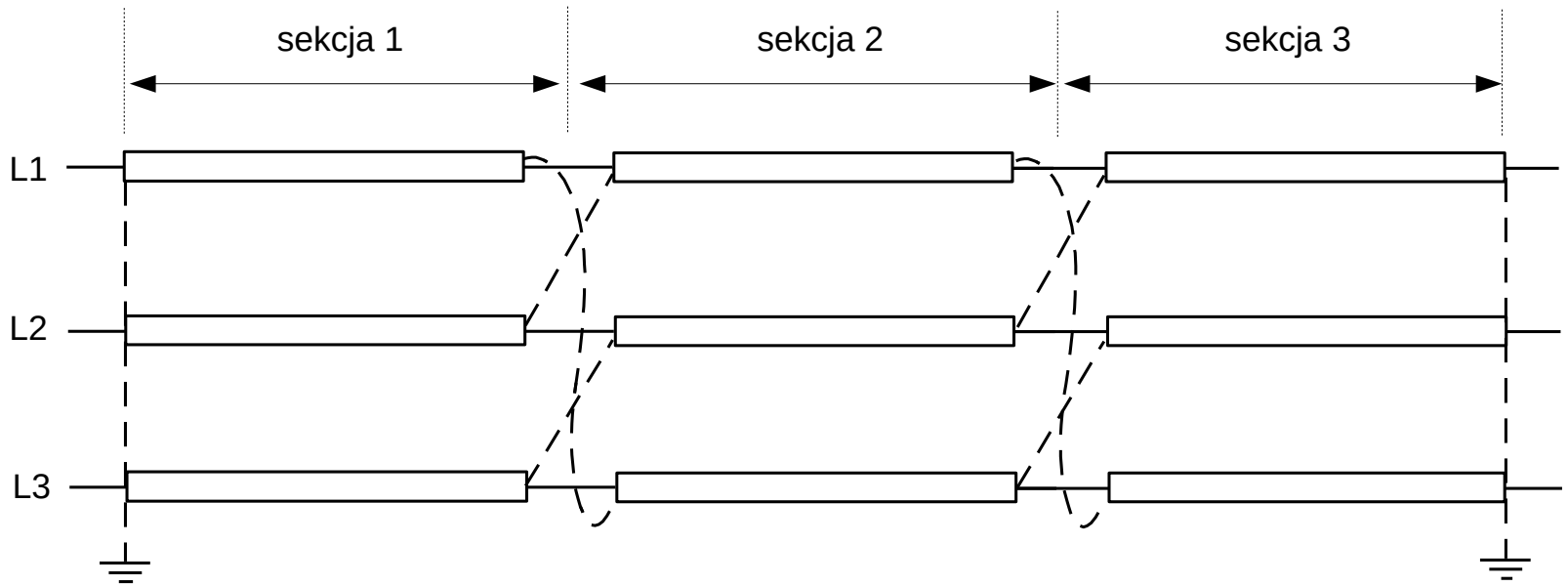
Miedź 64/110÷115 (123) kV, 87/150÷161 (170) kV

Wartości obciążalności prądowych kabli i przewodów jednożyłowych wyrażana w amperach																
Przekrój żyły roboczej																
	Ułożenie															
	SPP; CB		Both-ends		SPP; CB		Both-ends		SPP; CB		Both-ends		SPP; CB		Both-ends	
	Kable w ziemi								Kable w powietrzu							
mm²	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
150RM	360	435	325	395	345	415	335	405	390	520	360	490	350	470	345	465
185RM	410	490	355	435	390	465	375	450	445	595	405	545	400	540	390	525
240RM	475	570	395	485	450	545	430	520	530	710	465	630	470	635	455	615
300RM	540	645	430	525	510	615	480	580	610	815	515	705	535	725	510	700
400RM	615	740	465	570	580	700	535	650	705	950	570	790	620	840	585	800
500RM	700	845	500	615	660	795	595	725	815	1100	630	875	715	970	660	910
630RM	800	965	530	660	745	900	660	805	945	1275	695	970	820	1120	750	1030
800RM	900	1090	560	695	830	1005	715	880	1085	1465	755	1055	930	1275	835	1155
1000RM	995	1205	580	725	910	1105	765	945	1215	1650	800	1130	1035	1415	905	1265

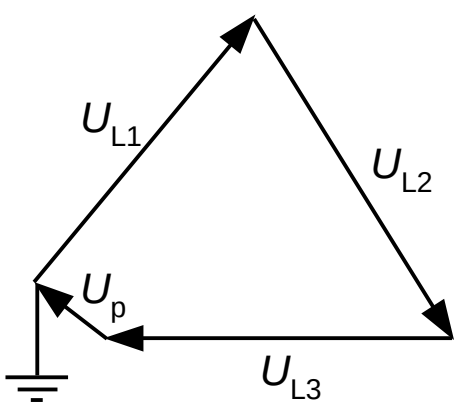
Źródło: Katalog TF Kable

Linie kablowe – napięcia indukowane w żyłach powrotnych

Cross-bonding



Krzyżowanie żył powrotnych kabla (cross-bonding)

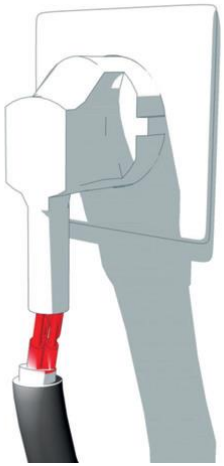


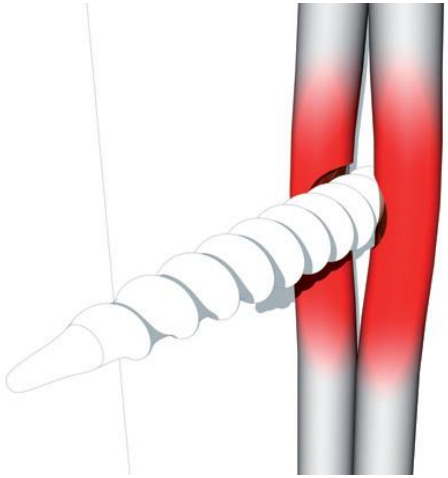
Napięcia indukowane przy zastosowaniu krzyżowania żył powrotnych (cross-bonding);
U_p – napięcie wypadkowe żył powrotnych na końcu kabla

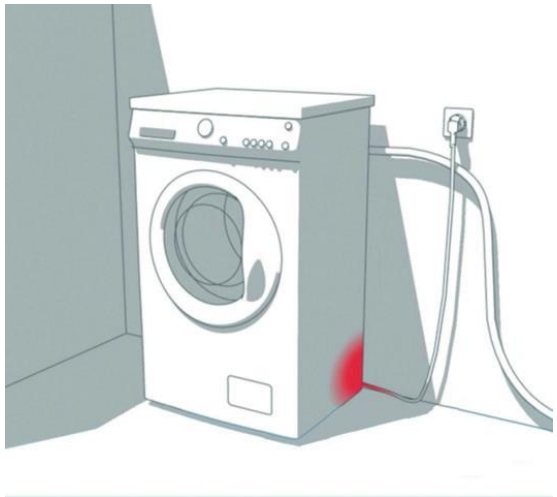
Urządzenia do detekcji zwarć łukowych (AFDD)

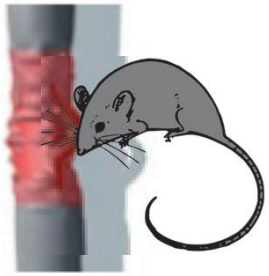
Ochrona przed pożarem – zabezpieczenia

Uszkodzenia, które mogą spowodować iskrzenie i zwarcie łukowe





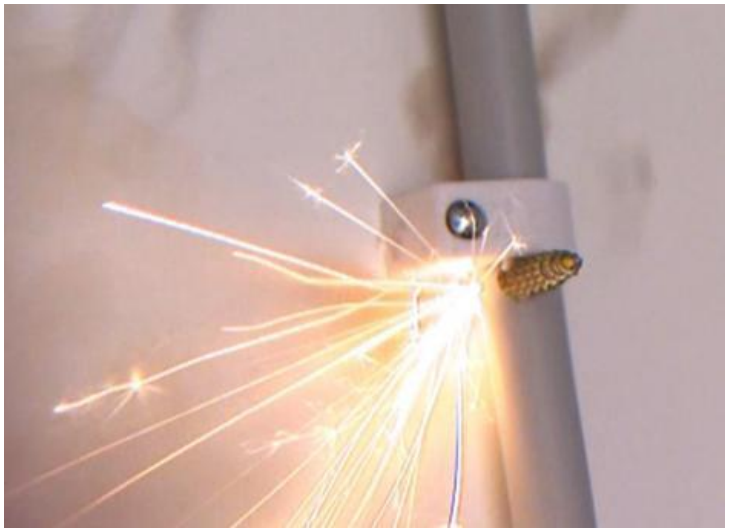




Źródło: Katalog wyrobów OEZ Minia 2017

Ochrona przed pożarem – zabezpieczenia

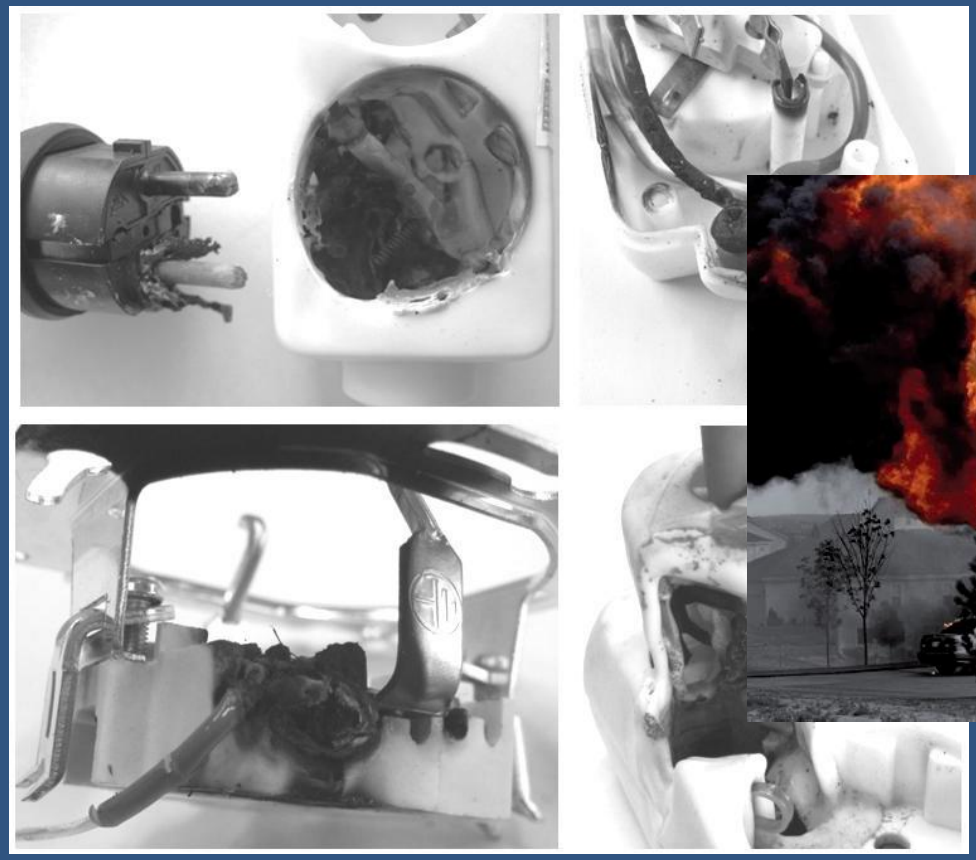
Łuk przy uszkodzeniach urządzeń w instalacji elektrycznej niskiego napięcia



Źródło: Martel J.-M., Series arc faults in low-voltage AC electrical installations, Universitätsverlag Ilmenau, 2018

Ochrona przed pożarem – zabezpieczenia

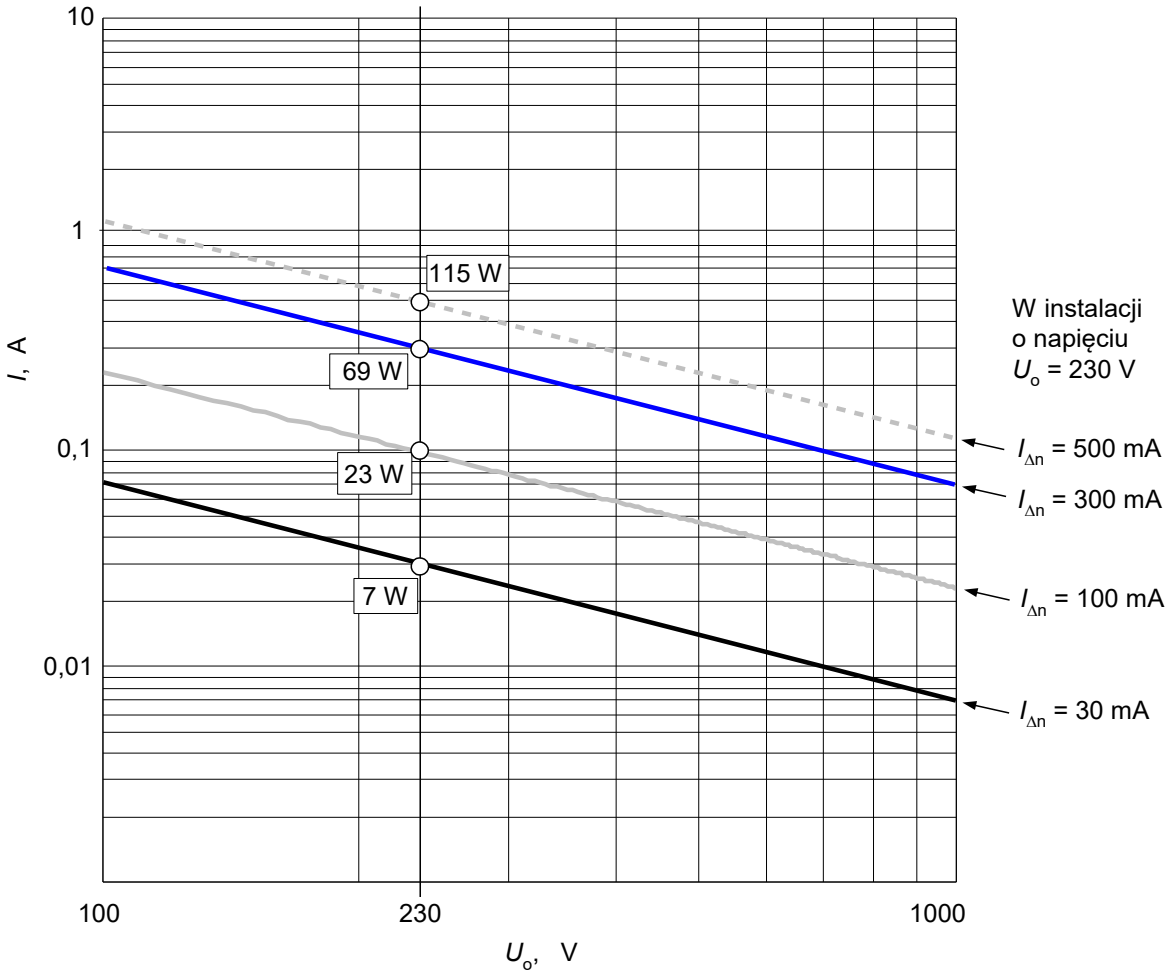
Skutki łuku/iskrzenia



Źródło: Martel J.-M., Series arc faults in low-voltage AC electrical installations, Universitätsverlag Ilmenau, 2018 oraz Katalog wyrobów OEZ Minia 2017

Ochrona przed pożarem – stan aktualny

Wyłączniki różnicowoprądowe



Dobór znamionowego prądu różnicowego zadziałania $I_{\Delta n}$ wyłącznika różnicowoprądowego w zależności od napięcia obwodu względem ziemi U_o oraz przyjętego poziomu minimalnej mocy zapalającej

Ochrona przed pożarem – stan aktualny

PN-IEC 60364-4-482:1999, Punkt 482.2.10

Do ochrony przeciwpożarowej nadają się wyłączniki różnicowoprądowe o znamionowym prądzie różnicowym zadziałania nie większym niż 500 mA.

PN-HD 60364-5-53:2016-02, Punkty 532.2; 532.3

Wyłączniki różnicowoprądowe w ochronie przed pożarem.

Wyłączniki różnicowoprądowe powinny mieć znamionowy prąd różnicowy zadziałania nie większy niż 300 mA. Powinny być zainstalowane na początku chronionego obwodu.

Urządzenia monitorujące prąd różnicowy (RCM) w ochronie przed pożarem w układzie IT.

Jeżeli instalacja o układzie IT jest nadzorowana przez osoby wykwalifikowane lub poinstruowane, to zamiast wyłączników różnicowoprądowych można stosować urządzenia RCM. Urządzenia te powinny być zainstalowane na początku obwodów odbiorczych i działać na sygnał optyczny i akustyczny. Prąd różnicowy zadziałania nie powinien przekraczać 300 mA.

Ochrona przed pożarem – stan aktualny

PN-HD 60364-4-42:2011, Punkt 422.3.9

Obwody odbiorcze i odbiorniki elektryczne w pomieszczeniach, w których ze względu na rodzaj produkcji lub charakter składowanych materiałów występuje ryzyko pożarowe, należy chronić przed skutkami uszkodzenia izolacji w następujący sposób:

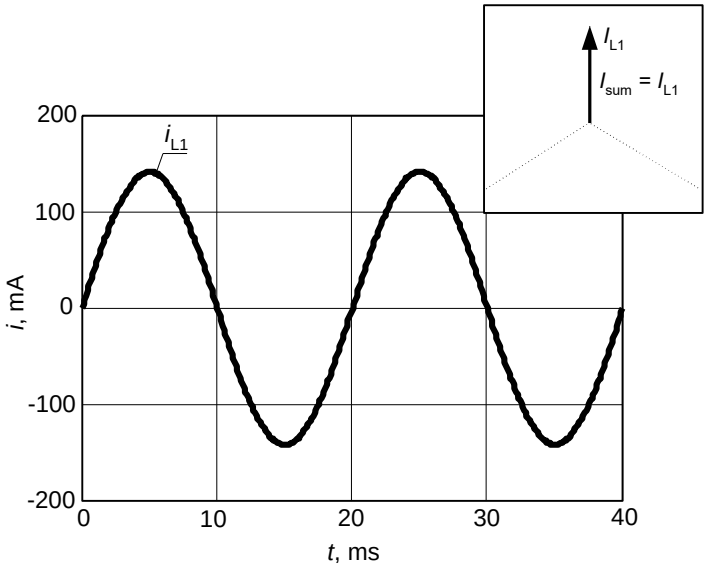
a) W układzie TN i w układzie TT należy stosować wyłączniki różnicowoprądowe o $I_{\Delta n}$ ≤ 300 mA. Jeżeli zwarcia oporowe mogłyby wywołać pożar, np. w obwodach ogrzewania sufitowego, to należy stosować wyłączniki różnicowoprądowe o $I_{\Delta n}$ ≤ 30 mA.

b) W układzie IT należy stosować urządzenia monitorujące stan izolacji obejmujące całą instalację lub urządzenia monitorujące prąd różnicowy (RCM) w obwodach odbiorczych. Wymienione urządzenia powinny być wyposażone w optyczną i akustyczną sygnalizację uszkodzenia. Alternatywnie można zastosować wyłączniki różnicowoprądowe – ich znamionowy prąd różnicowy powinien być taki jak w punkcie a).

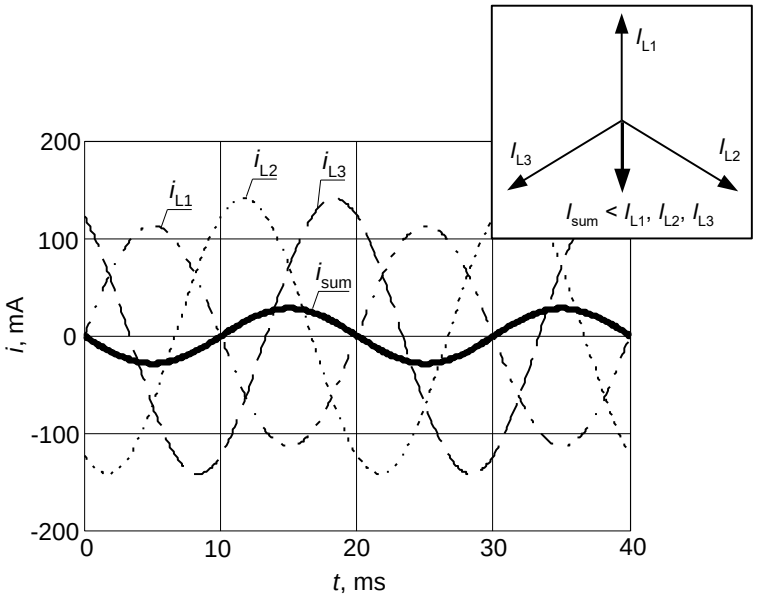
Powyższe wymagania dotyczą również obwodów przechodzących przez te pomieszczenia.

Ochrona przed pożarem – (nie)skuteczność wyłączników różnicowoprądowych

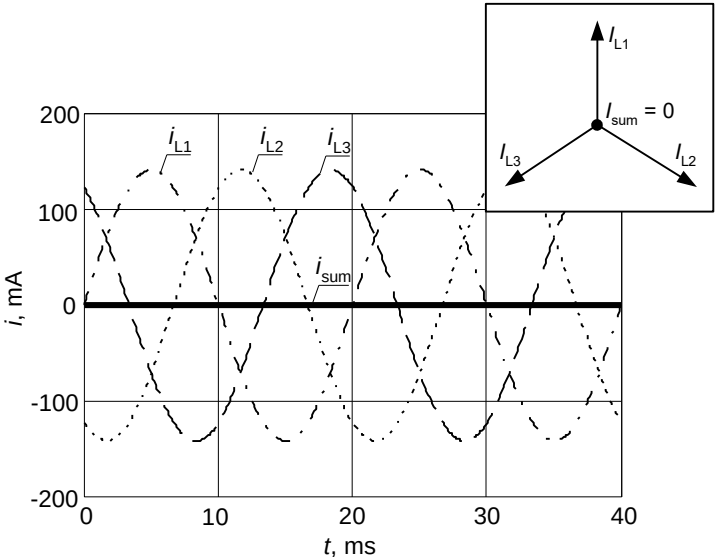
a)



b)



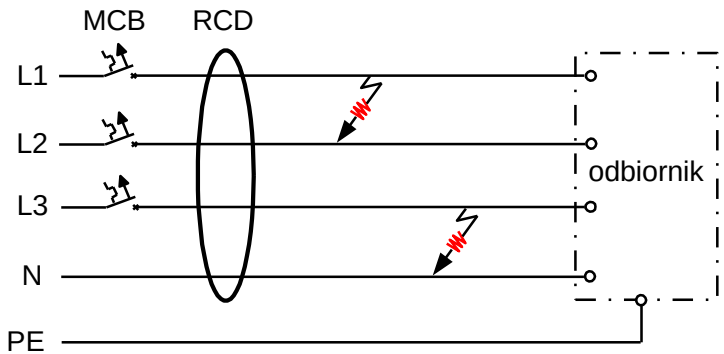
c)



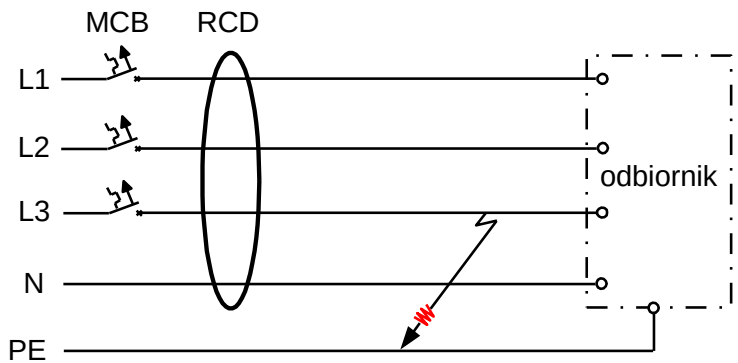
Wypadkowy prąd upływowy I_{sum} płynący z:
a) fazy L1: $I_{sum} = I_{L1} = 100$ mA,
b) faz: L1 $I_{L1} = 80$ mA, L2 $I_{L2} = 100$ mA, L3 $I_{L3} = 100$ mA; $I_{sum} = 20$ mA,
c) faz L1, L2, L3: $I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = 100$ mA; $I_{sum} = 0$ mA

Rodzaje łuku a przydatność wyłączników nadprądowych (MCB) i wyłączników różnicowoprądowych (RCD)

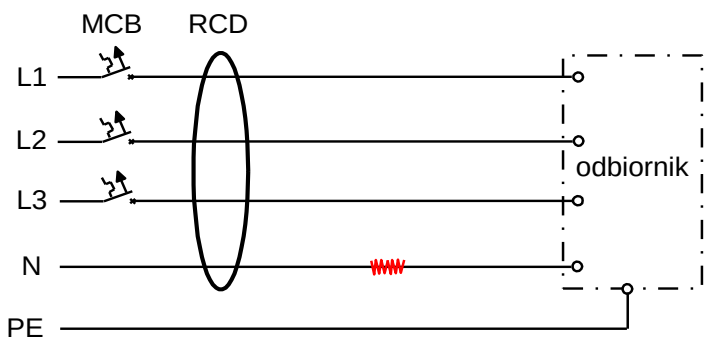
Łuk równoległy – występuje wtedy, gdy prąd łuku płynie między przewodami czynnymi (L-L, L-N)



Łuk doziemny – występuje wtedy, gdy prąd łuku płynie między przewodem czynnym a ziemią; z punktu widzenia właściwości łuku, w szczególności wartości prądu, ten rodzaj łuku też jest łukiem równoległym



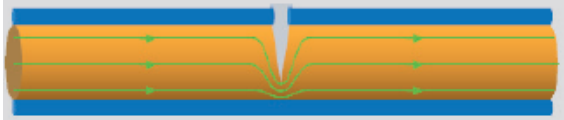
Łuk szeregowy – występuje wtedy, gdy prąd łuku jest równocześnie prądem obciążenia odbiornika



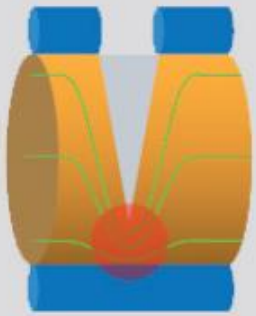
!

Powstawanie łuku szeregowego

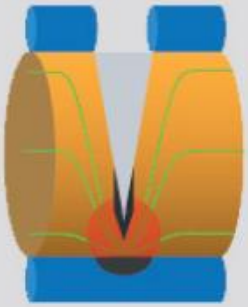
Phase 1:
Current flows through a damaged cable



Phase 2:
Constriction: cable and insulation become too hot

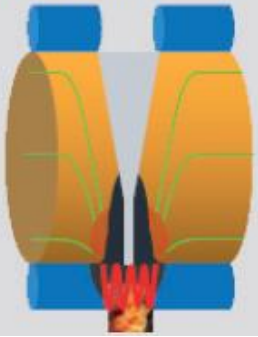


Phase 3:
up to 1 250 °C
Hot copper oxidizes to copper oxide and the insulation carbonizes



Phase 4:
up to approximately 6 000 °C
Copper melts and gasifies briefly (e.g. at the sine-wave peak)
Air space
Sporadic arcs across insulation

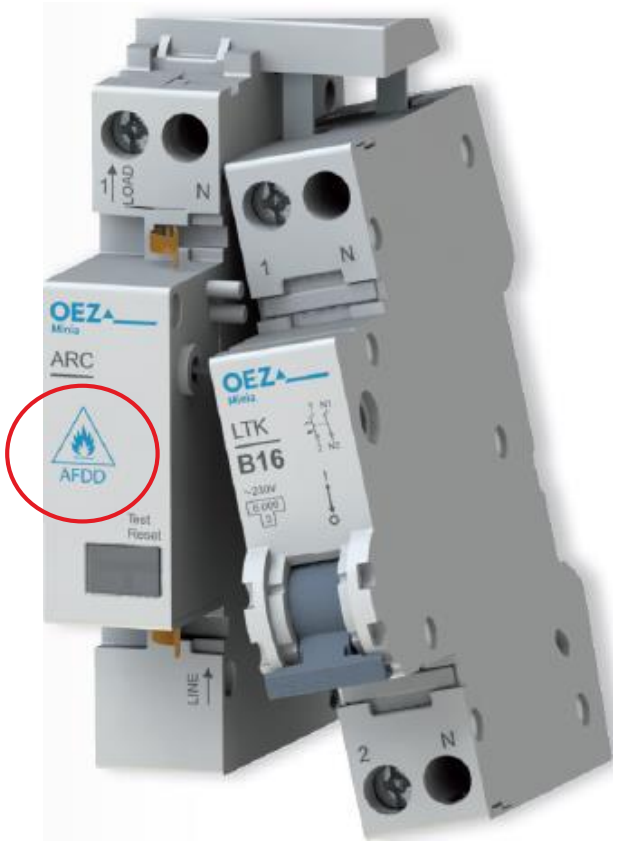
Phase 5:
approximately 6 000 °C
Stable arc across carbonized insulation



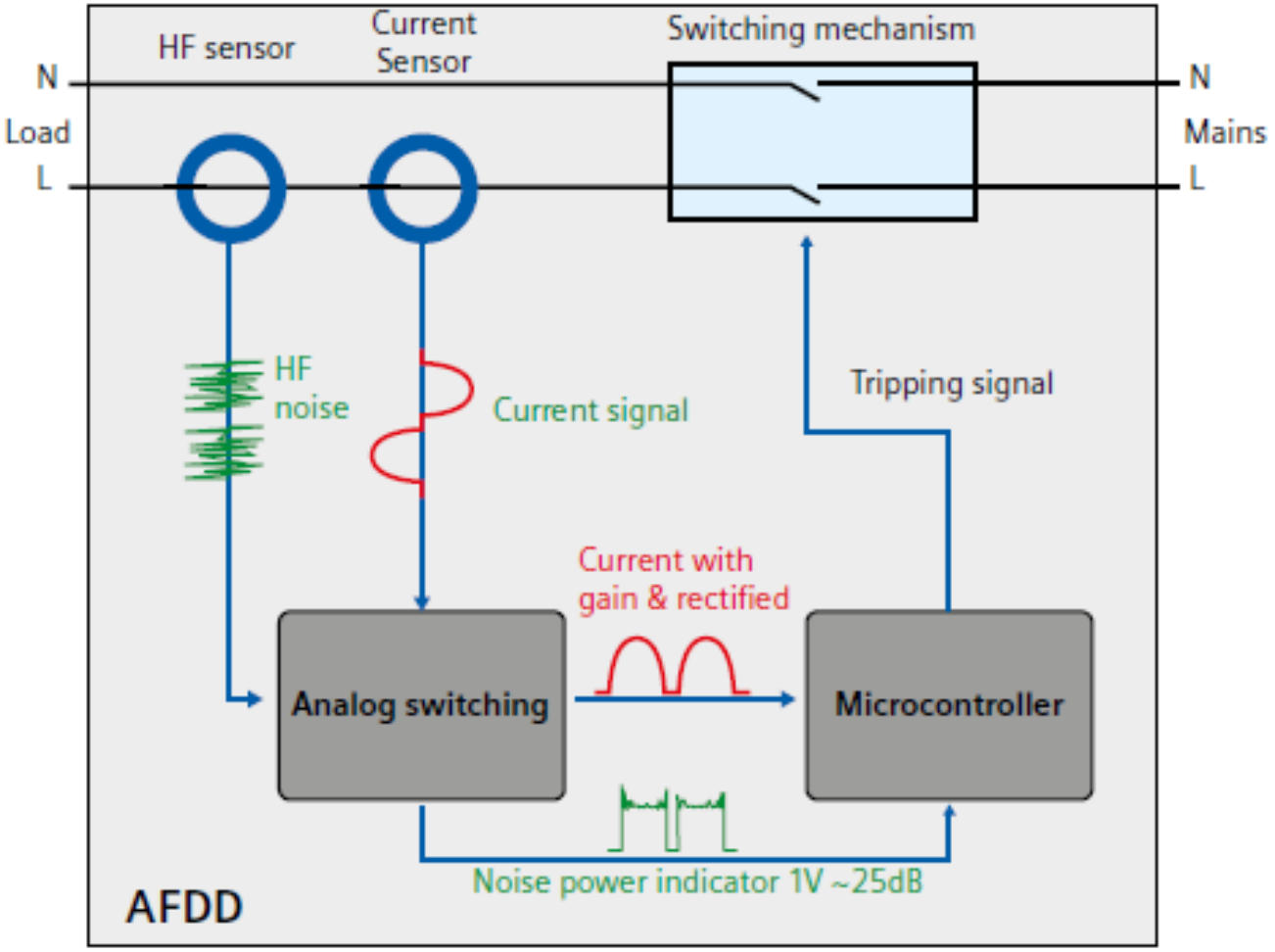
Źródło: Katalog wyrobów OEZ Minia 2017

Urządzenia do detekcji zwarć łukowych (AFDD)

AFDD – **A**rc **F**ault **D**etection **D**evice (urządzenie do detekcji zwarć łukowych)



Urządzenia do detekcji zwarć łukowych (AFDD)

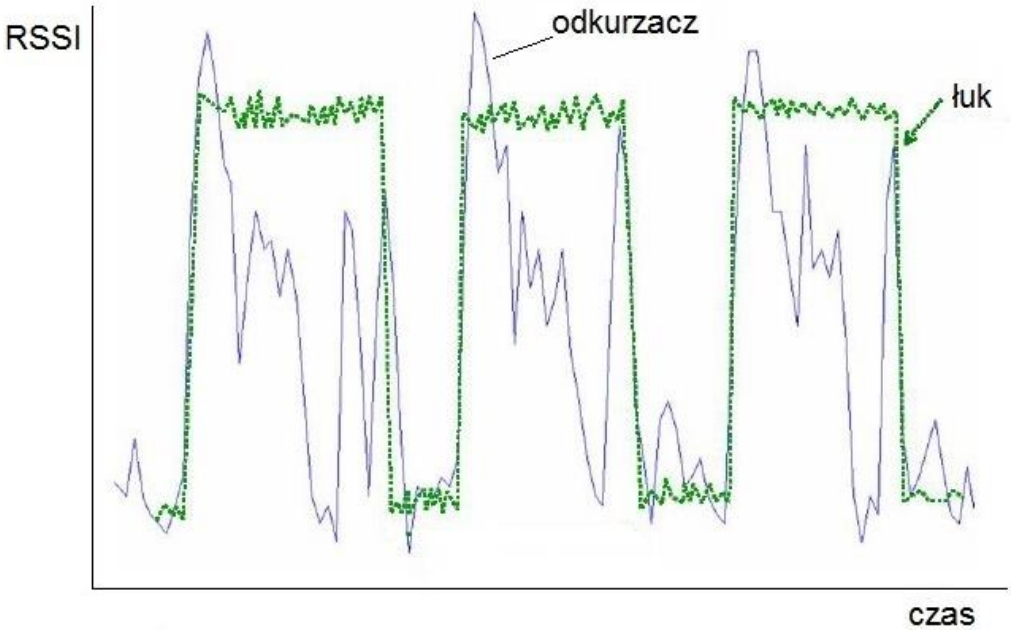


Struktura urządzenia do detekcji zwarć łukowych

Źródło: materiały firmy SIEMENS

Urządzenia do detekcji zwarć łukowych (AFDD)

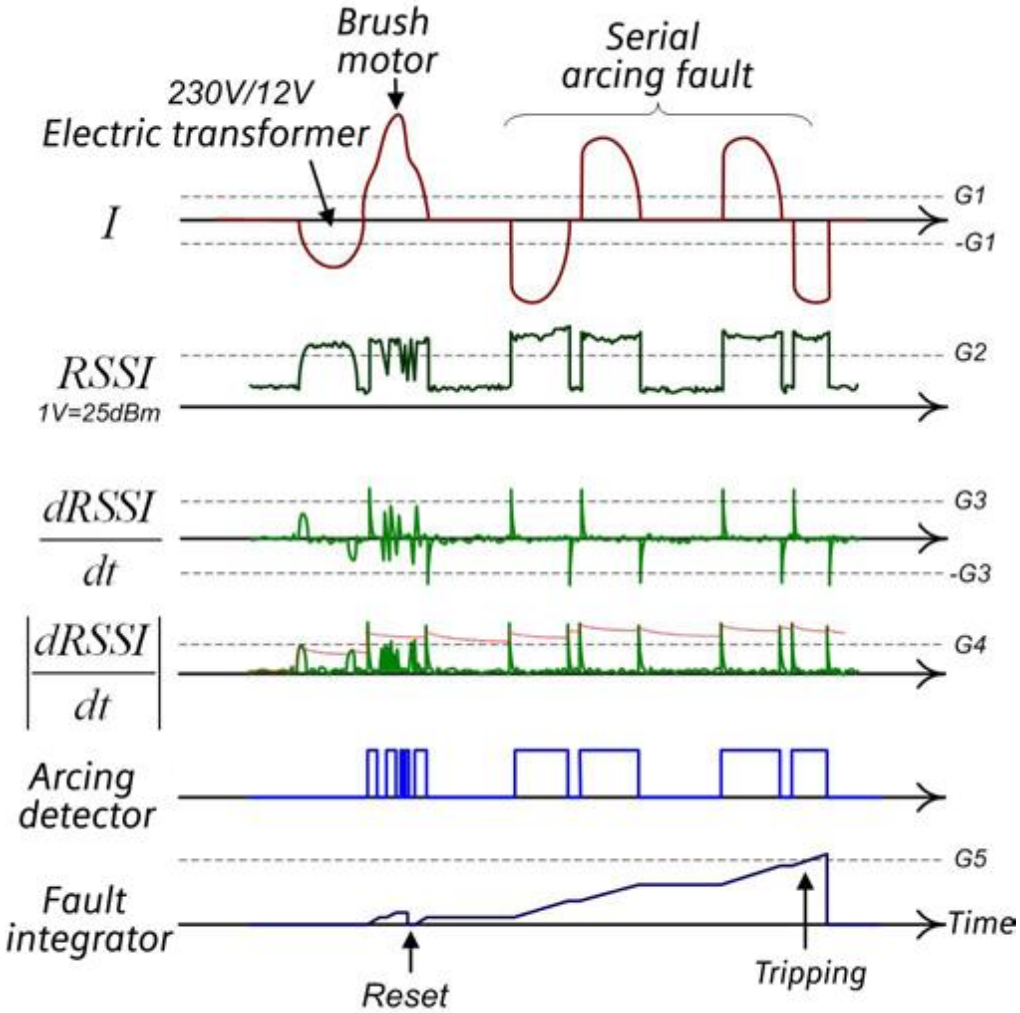
Układ detekcji i identyfikacji łuku urządzenia AFDD wykorzystuje szereg wskaźników, a w szczególności wskaźnik RSSI (ang. *received signal strength indicator*), który jest istotny w telekomunikacji i utożsamiany z mocą odbieranego sygnału radiowego. Porównanie takiego sygnału pochodzącego od łuku/iskrzenia z sygnałem pochodzącym od prądu obciążenia urządzeń domowego użytku pozwala na odróżnienie uszkodzenia w obwodzie od stanu normalnego.



Wskaźnik RSSI łuku elektrycznego i prądu pobieranego przez odkurzacz

Źródło: Restrepo C. E., Arc fault detection and discrimination methods. 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Pittsburgh, PA, USA, 16-19 Sept. 2007

Urządzenia do detekcji zwarć łukowych (AFDD)

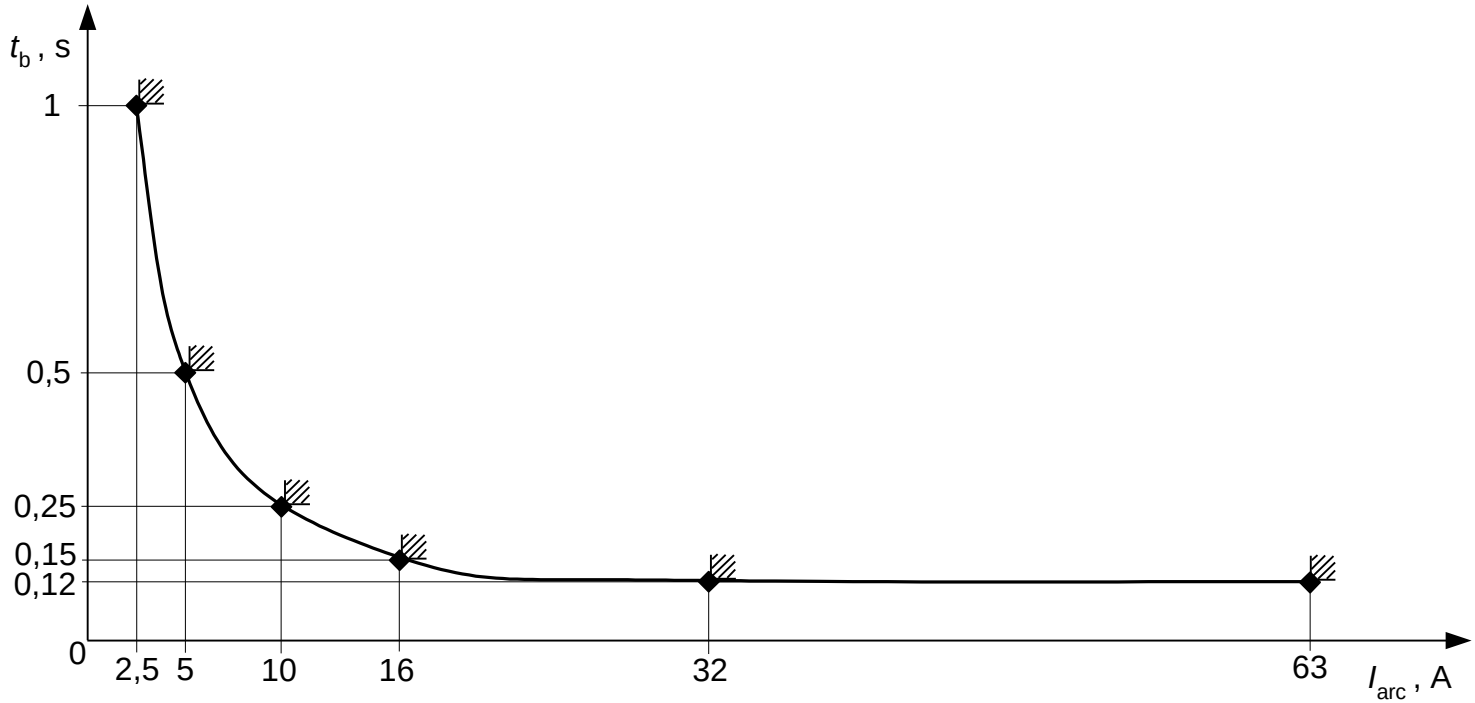


Wykrywanie łuku szeregowego

Źródło: materiały firmy SIEMENS

AFDD – charakterystyki działania

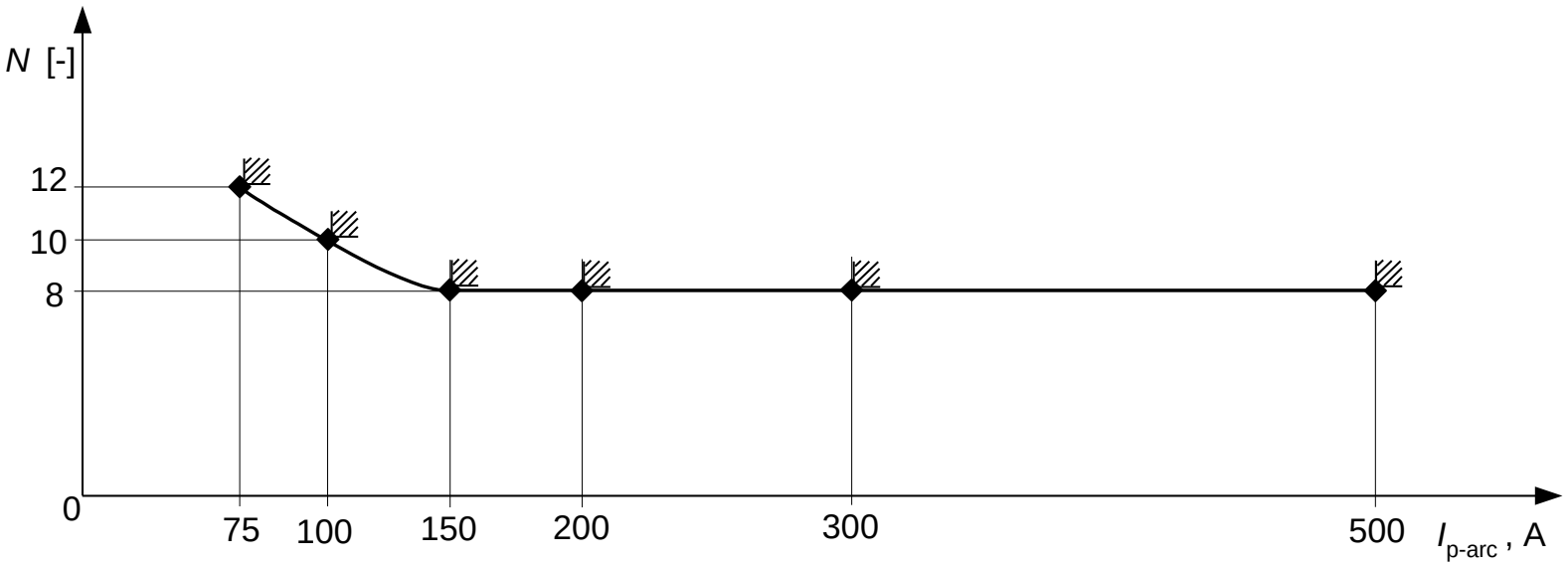
Norma dotycząca zabezpieczeń AFDD:
PN-EN 62606:2014 (wersja angielska) Wymagania ogólne dla urządzeń do detekcji zwarć łukowych



Charakterystyka działania AFDD (U_n = 230 V) dla prądu łuku do 63 A (łuk równoległy doziemny lub łuk szeregowy), według wymagań PN-EN 62606:2014

t_b – największy dopuszczalny czas wyłączania zasilania
I_{arc} – prąd łuku (wartość skuteczna)

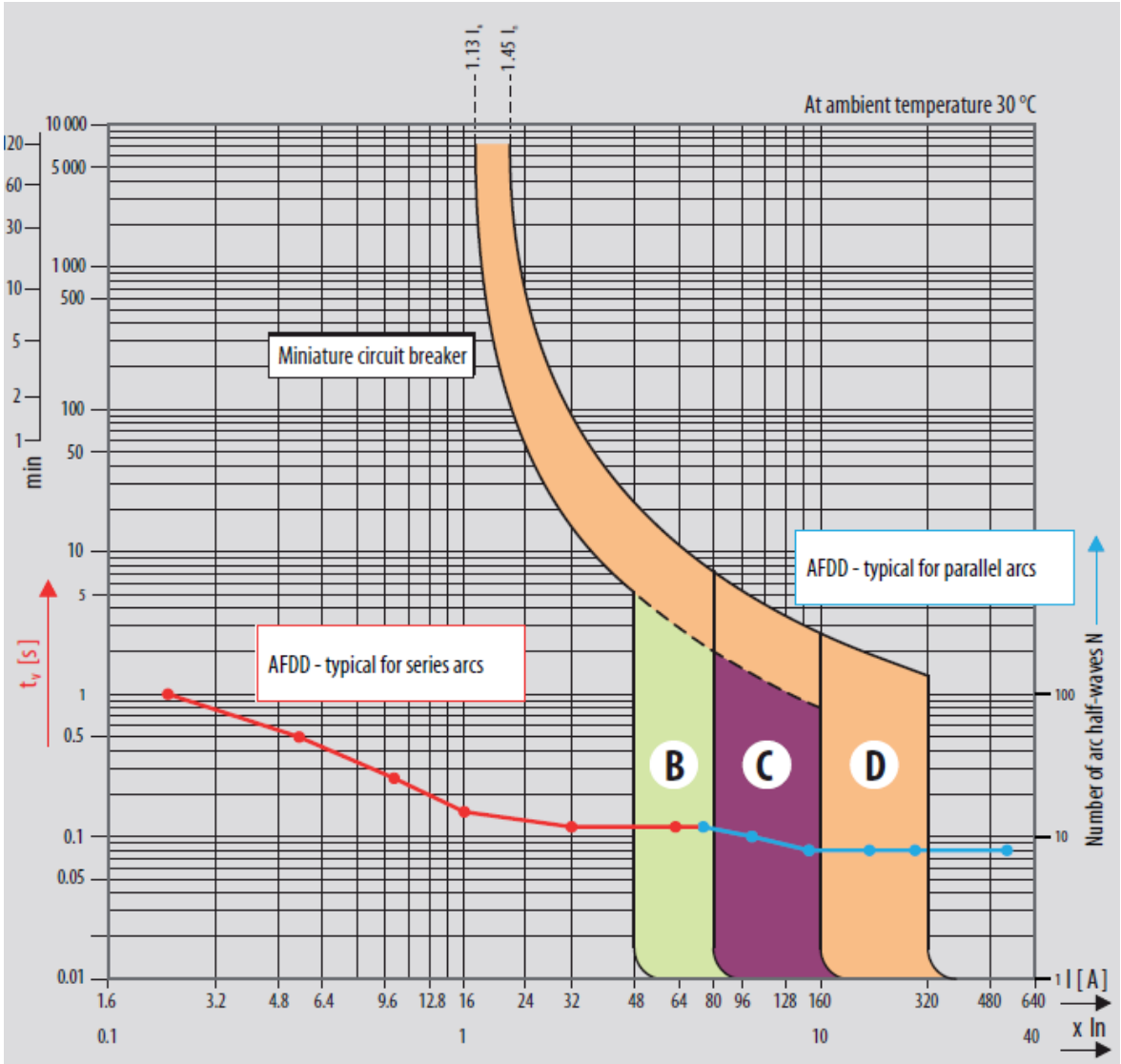
AFDD – charakterystyki działania



Charakterystyka działania AFDD (U_n = 230 V) dla prądu łuku powyżej 63 A (łuk równoległy), według wymagań PN-EN 62606:2014

N – największa dopuszczalna liczba półfal prądu w czasie nie dłuższym niż 0,5 s
$I_{p\text{-}arc}$ – spodziewany prąd przed wystąpieniem łuku (wartość skuteczna)

AFDD – charakterystyki działania



Źródło: Katalog wyrobów OEZ Minia 2017

AFDD – charakterystyki działania

Urządzenia/obwody, w których może pojawić się łuk elektryczny podczas normalnej pracy – zabezpieczenia AFDD nie powinny reagować

	Arcing of brush motors - power drills, blenders, vacuum cleaners
	Arcing of a light switch etc.
	Arcing on the contacts of socket outlets and older relays
	Surge current of fluorescent lights
	Data signal from the device for operation of computer network via power sockets (powerline)
	Current behaviour using light dimmer

Źródło: Katalog wyrobów OEZ Minia 2017

AFDD – charakterystyki działania

Napięcie znamionowe U_n
Zalecane wartości to 230 V oraz 120 V (USA).

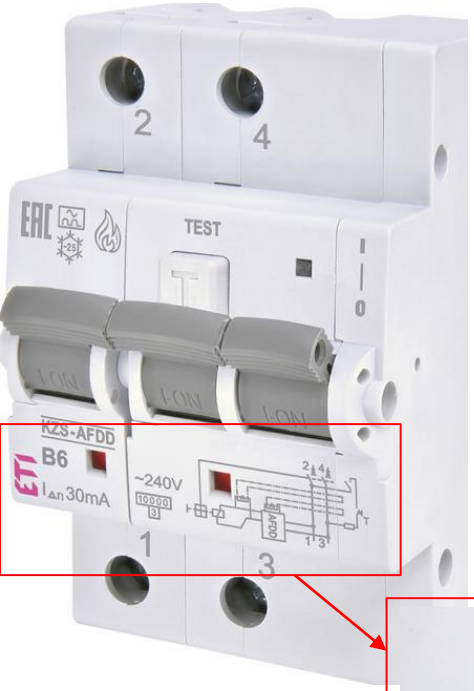
Prąd znamionowy ciągły I_n
Zalecane wartości to 6 A – 8 A – 10 A – 13 A – 16 A – 20 A – 25 A – 32 A – 40 A – 50 A – 63 A.

Częstotliwość znamionowa *f*
Zalecane wartości to 50 Hz i 60 Hz; jeżeli urządzenie jest przeznaczone do innej częstotliwości, należy oznaczyć to na nim oraz wykonać odpowiednie testy przy tej częstotliwości.

Zdolność załączania i wyłączania prądu I_m,
Zdolność załączania i wyłączania prądu przez jeden biegun I_{m1}
Najmniejsza wymagana wartość obu prądów (I_m oraz I_{m1}) to $10I_n$, ale nie mniej niż 500 A. Podobne wymagania stawia się wyłącznikom różnicowoprądowym bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego. Zatem urządzeniu AFDD powinno towarzyszyć zabezpieczenie nadprądowe.

Prąd zwarciowy umowny I_{nc},
Prąd zwarciowy umowny jednego bieguna I_{nc1}
Znormalizowane wartości tych prądów (prądów, które AFDD jest w stanie przetrzymać pod warunkiem dobezpieczenia przez odpowiednie zabezpieczenie nadprądowe) są następujące: 3 kA, 4,5 kA, 6 kA, 10 kA, 20 kA i 25 kA.

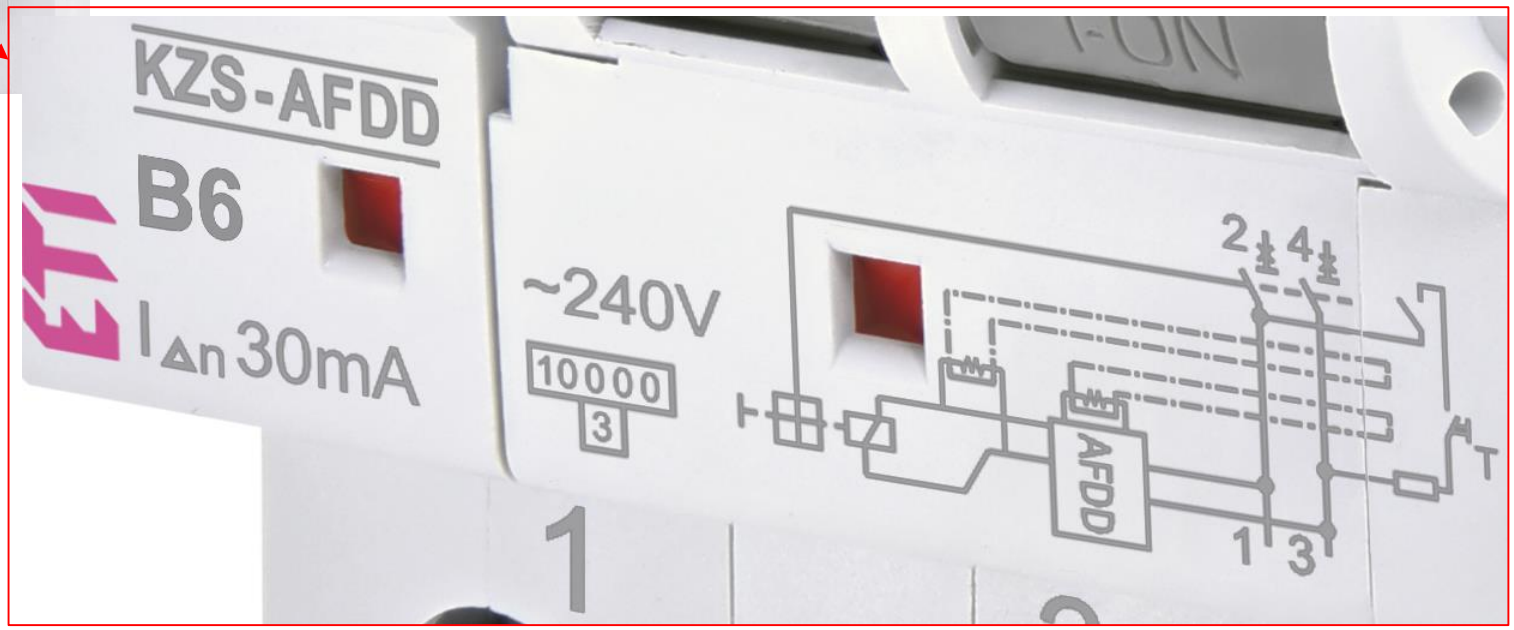
AFDD – charakterystyki działania



Zintegrowane zabezpieczenie:
- różnicowoprądowe
- nadprądowe
- z detekcją zwarć łukowych

KZS-AFDD

Źródło: Katalog wyrobów ETI



AFDD – zalecenia stosowania

Postanowienie normy PN-HD 60364-4-42:2011/A1:2015-01 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-42: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami oddziaływania cieplnego:

„**421.7.** Zaleca się zastosowanie specjalnych środków w celu ochrony przed skutkami zwarć łukowych w obwodach końcowych:

•w pomieszczeniach z miejscami przeznaczonymi do spania;

•w miejscach, w których występuje ryzyko pożaru ze względu na charakter produkcji lub rodzaj składowanych materiałów, tzn. lokalizacje BE2 (np. stodoły, zakłady obróbki drewna, magazyny materiałów łatwopalnych);

•w obiektach wykonanych z materiałów łatwopalnych, tzn. lokalizacje CA2 (np. domy drewniane);

•w strukturach rozprzestrzeniających ogień, tzn. lokalizacje CB2;

•lokalizacje, w których znajdują się dobra znacznej wartości.

(…)

W obwodach a.c., zastosowanie urządzeń do wykrywania zwarć łukowych (AFDD) zgodnych z IEC 62606 spełnia wyżej wymienione zalecenia.”

AFDD – zalecenia stosowania

Niemcy

DIN VDE 0100-420:2016-02 Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 4-42: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen

AFDD należy instalować w obwodach o prądzie obciążenia nie większym niż 16 A zasilających m.in. urządzenia w sypialniach domów mieszkalnych, przedszkoli, osób starszych lub niepełnosprawnych, pomieszczeniach o dużym zagrożeniu pożarowym i w pomieszczeniach zawierających dobra materialne o znacznej wartości.

Od roku 2019 złagodzenie postanowień – AFDD zaleca się stosować po dokładnej analizie zagrożenia pożarowego.

AFDD – zalecenia stosowania

USA

AFCI – Arc Fault Circuit Interrupter

Źródło: Siemens AG 2012

National Electrical Code, 2008

210.12 (B) Dwelling Unit

„All 120-volt, single-phase, 15- and 20-ampere branch circuits supplying outlets installed in dwelling unit family rooms, dining rooms, living rooms, parlors, libraries, dens, bedrooms, sunrooms, recreation rooms, closets, hallways, or similar rooms or areas shall be protected by a listed arc-fault circuit interrupter, combination-type, installed to provide protection of the branch circuit.”

Instalacje elektryczne w strefie oddziaływania kolejowej sieci trakcyjnej

Zelektryfikowany szlak kolejowy a ochrona przeciwporażeniowa

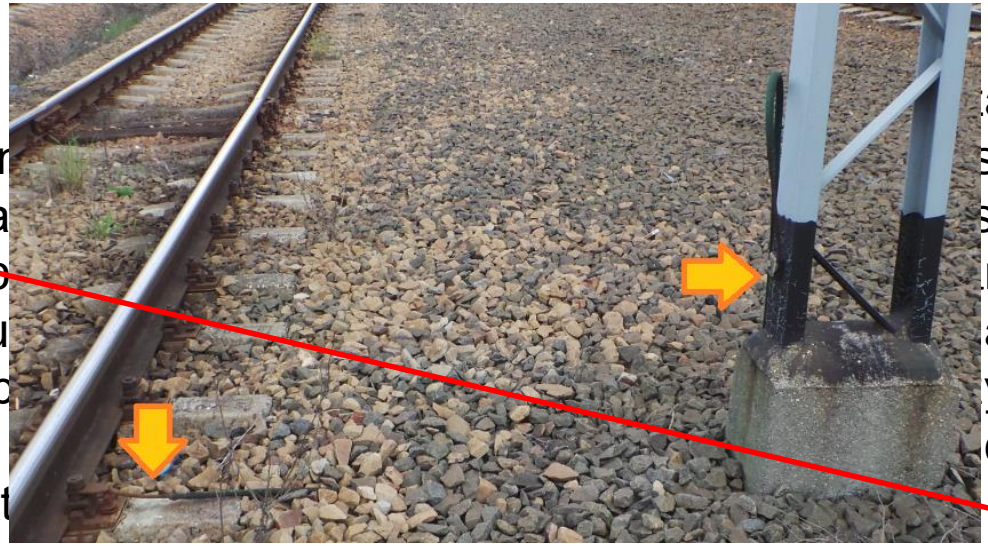
W razie zwarcia części czynnej górnej sieci jezdnej albo odbieraka prądu z pobliską konstrukcją albo inną częścią przewodzącą, której mógłby dotknąć człowiek, powinno dojść do **bezzwłocznego samoczynnego wyłączenia zasilania górnej sieci jezdnej** przez wyłącznik szybki w podstacji trakcyjnej.

Aby do tego doprowadzić, ten stan uszkodzenia powinien być jak najszybciej **przekształcony w zwarcie międzybiegunowe**, zapewniające dostatecznie dużą wartość prądu.

W tym celu metalowe konstrukcje naziemne, usytuowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej, czyli w pasie linii kolejowej w odległości mniejszej niż 5 m od osi skrajnego toru, powinny być przyłączone do obwodu powrotnego – **uszynione.**

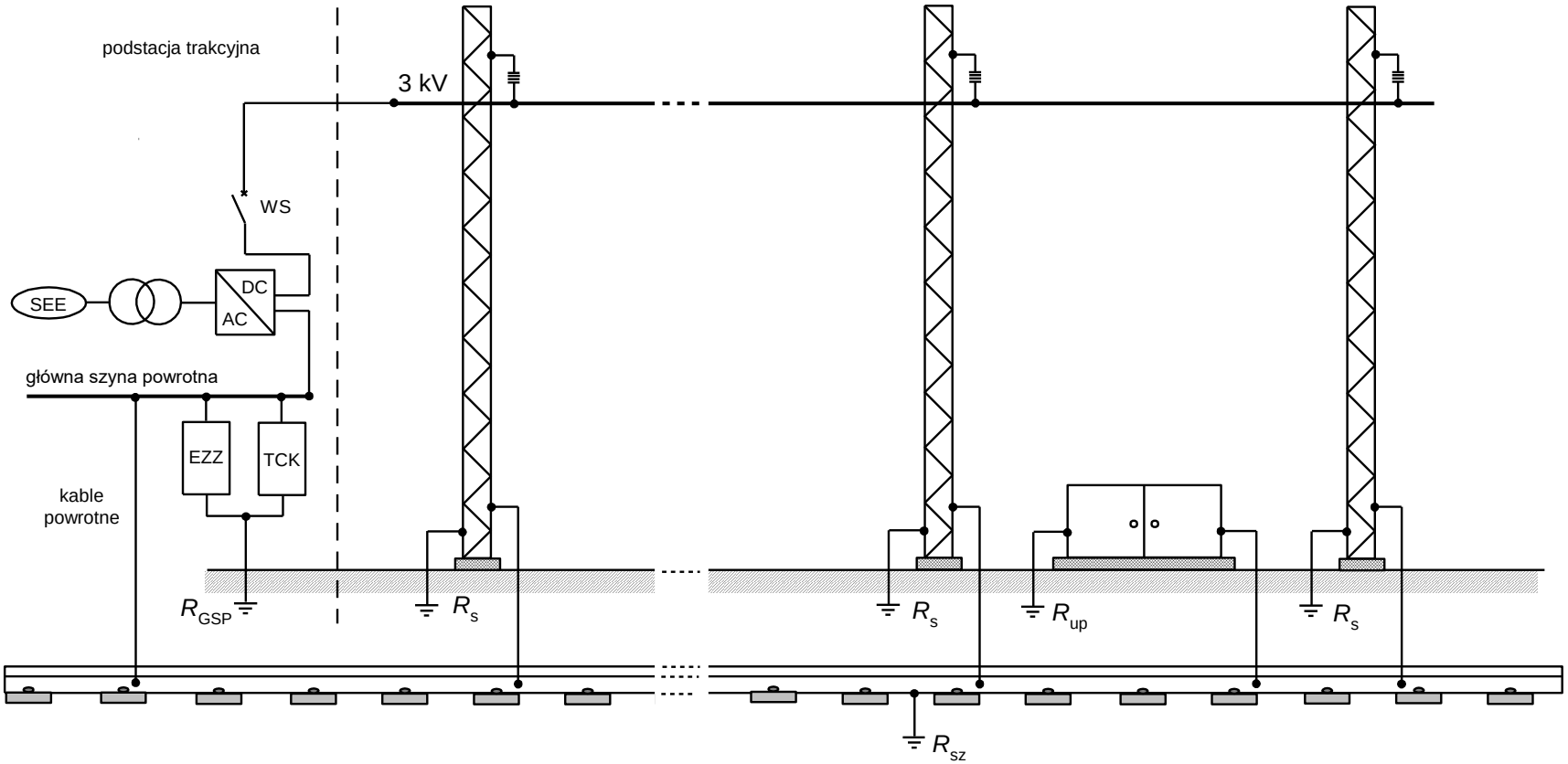
Stosuje się:

Uszynienie bezpośrednie, czyli ącej usytuowanej w strefie oddziaływar st to rozwiązanie najprostsze i najta stale odgałęzianiem części prądu powro ncja naturalnego lub sztucznego u ącej uszynieniu. W wypadku trakcji p yjne infrastruktury podziemnej. Dawniej owe od dawna niemodernizowane, na kt



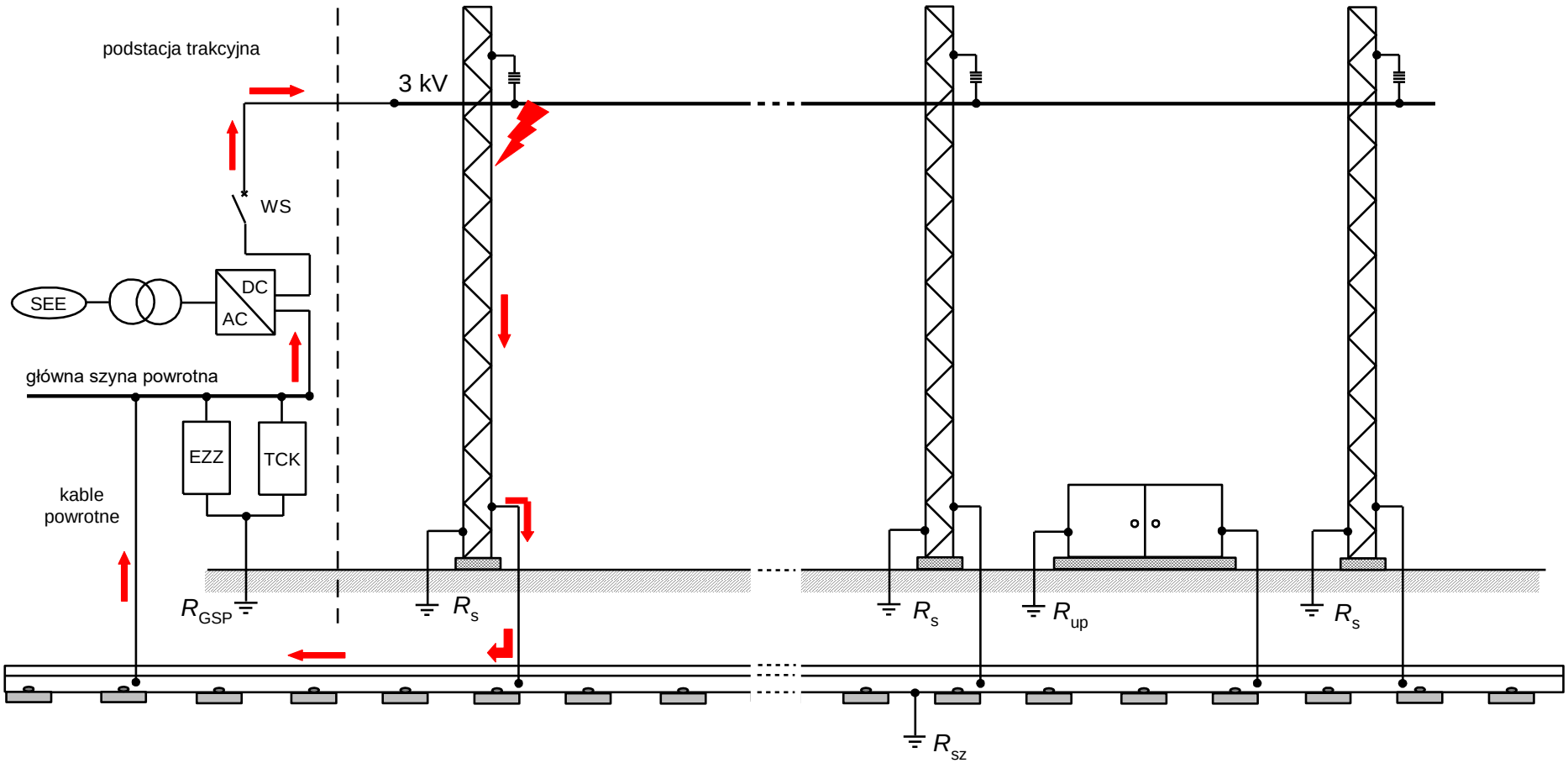
Uszynienie otwarte, czyli połączenie części przewodzących w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej z szynami jezdnymi za pośrednictwem ogranicznika napięcia dotykowego (VLD), co eliminuje zagrożenie związane z upływem prądów błądzących. Ogranicznik VLD stanowi przerwę obwodzie w normalnych warunkach pracy, a jest samoczynnie przełączany w stan przewodzenia w razie wystąpienia niebezpiecznego napięcia (ponad DC 120 V) na jego zaciskach, świadczącego o zwarciu z ziemią w sieci 3 kV. Dzięki temu ogranicznik przekształca małoprądowe zwarcie doziemne w wielkoprądowe zwarcie międzybiegunowe, co sprzyja samoczynnemu wyłączeniu zasilania sieci trakcyjnej.

Uszynienie bezpośrednie



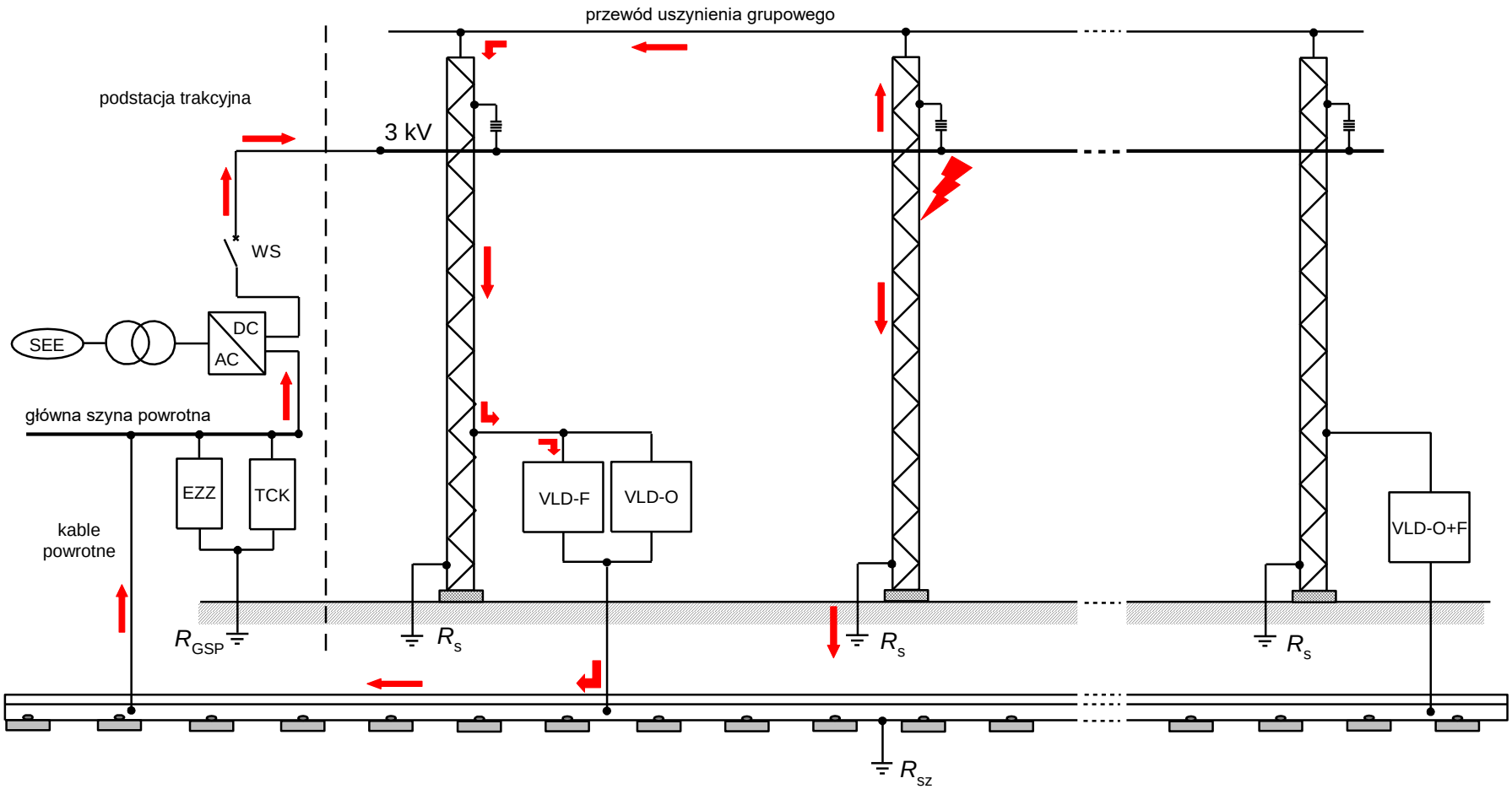
System zasilania trakcji elektrycznej DC o napięciu 3 kV z uszynieniem bezpośrednim
WS – wyłącznik szybki,
EZZ – urządzenie ochrony ziemnozwarciowej w podstacji trakcyjnej,
TCK – tester ciągłości kabli powrotnych,
R_{GSP} – rezystancja uziemienia ochronnego podstacji trakcyjnej,
R_s – rezystancja uziemienia słupa trakcyjnego,
R_{sz} – rezystancja doziemna szyn,
R_{up} – rezystancja uziemienia urządzenia przytorowego.

Uszynienie bezpośrednie



Przepływ prądu zwarciowego przy uszkodzeniu izolacji głównej na słupie trakcyjnym w układzie z uszynieniem bezpośrednim

Uszynienie otwarte



Przepływ prądu zwarciowego przy uszkodzeniu izolacji głównej na słupie trakcyjnym w układzie z uszynieniem otwartym

Uszynienie otwarte

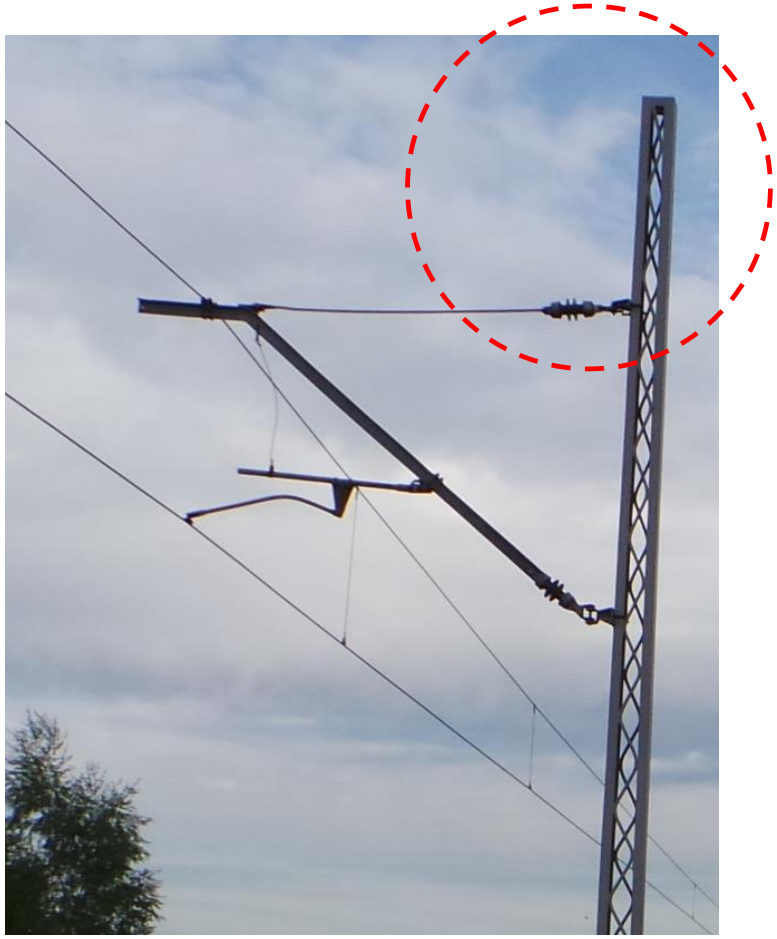
Ograniczniki napięcia dotykowego VLD (ang. *voltage limiting device*)

Uszynienie otwarte

Przewód uszynienia grupowego

Konstrukcje wsporcze – porównanie

Uszynienie bezpośrednie



Uszynienie otwarte

Urządzenia przytorowe – normy

Projektując instalacje elektryczne do zasilania urządzeń przytorowych należy uwzględnić postanowienia norm z grupy *Zastosowania kolejowe* oraz normy wieloarkuszowej *PN-HD 60364 Instalacje elektryczne niskiego napięcia*; a w szczególności:

- PN-HD 60364-4-41:2017 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym;
- PN-EN 50122-1:2011 Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 1: Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym.

Urządzenia przytorowe – środki ochrony

Spośród czterech dostępnych środków **ochrony podstawowej** (ochrony przed dotykiem bezpośrednim) można stosować wyłącznie dwa następujące:

- izolację podstawową,
- przegrody lub obudowy.

Ograniczenia dotyczą także **ochrony przy uszkodzeniu** (ochrony przy dotyku pośrednim, ochrony dodatkowej). W rachubę wchodzą następujące środki:

- samoczynne wyłączanie zasilania,
- izolacja podwójna lub wzmocniona,
- separacja elektryczna,
- bardzo niskie napięcie SELV lub PELV.

Urządzenia przytorowe – układ sieci TN

Układ TN

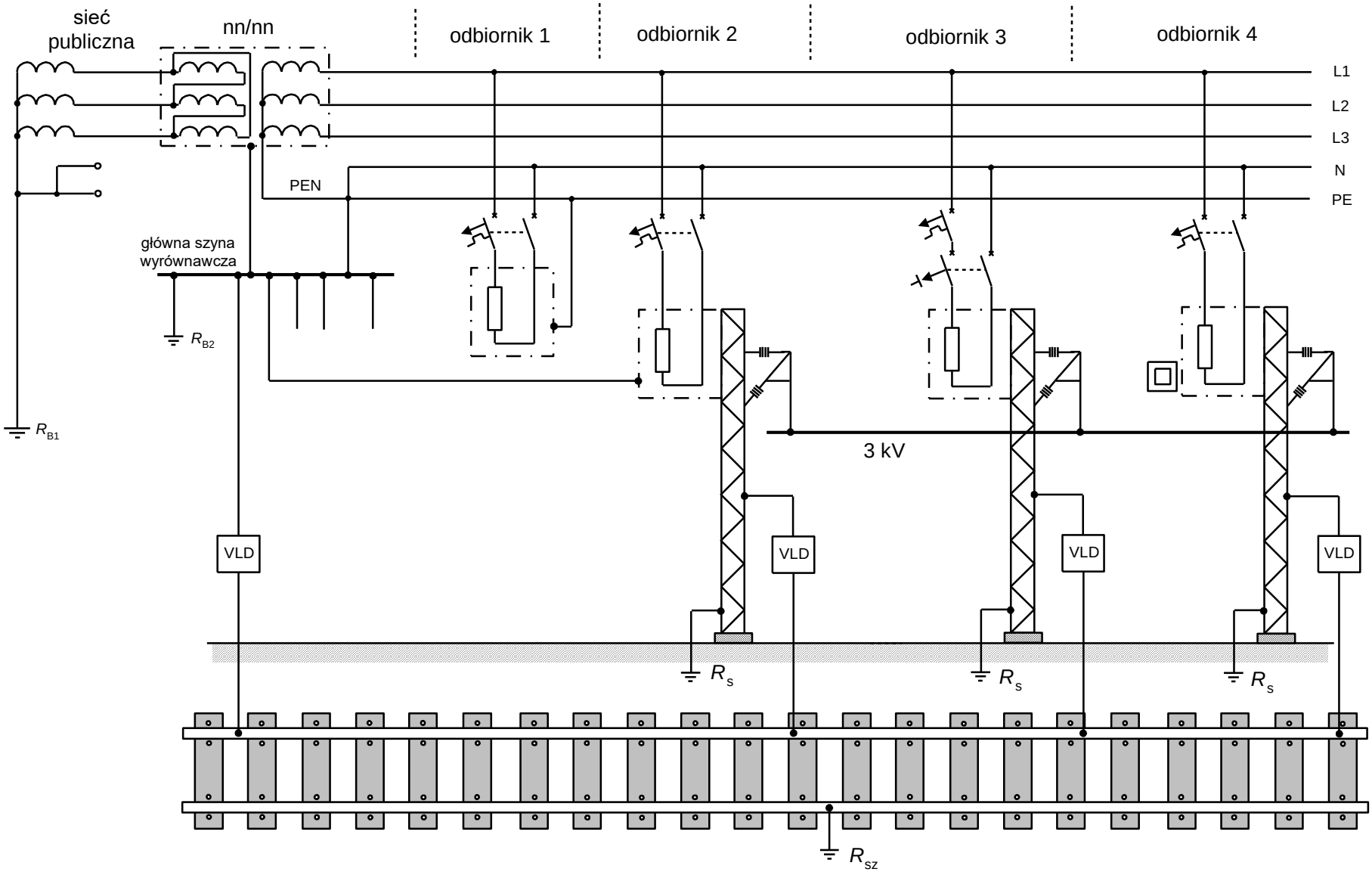
Układ TN w instalacji urządzeń przytorowych może być stosowany w ograniczonym zakresie.

Przy zasilaniu urządzeń przytorowych z sieci publicznej o układzie TN pojawia się ryzyko wyniesienia przez przewody PE/PEN, a także instalację uziemiającą niebezpiecznych napięć lub prądów (w szczególności prądów błądzących) z sieci trakcji elektrycznej.

Zaleca się więc oddzielenie galwaniczne instalacji kolejowych urządzeń przytorowych od sieci publicznej. Jeżeli urządzenia przytorowe są zasilane z oddzielnego transformatora SN/nn, to uznaje się, że wymagania bezpieczeństwa w tym zakresie są spełnione. Do zasilania urządzeń przytorowych z sieci publicznej niskiego napięcia zaleca się zastosowanie transformatora oddzielającego nn/nn.

Należy stosować podukład TN-S.

Urządzenia przytorowe – układ sieci TN



Urządzenia przytorowe – układ sieci TT

Układ TT

Do zasilania urządzeń przytorowych lepiej stosować układ TT. Wtedy można zrezygnować z transformatora nn/nn. Również w tym przypadku główna szyna wyrównawcza instalacji kolejowych urządzeń przytorowych nie powinna być elektrycznie połączona z systemem uziemień sieci publicznej. Warunek skuteczności ochrony przeciwporażeniowej jest tylko jeden, niezależnie od tego, czy urządzeniem wyłączającym jest zabezpieczenie nadprądowe, czy różnicowoprądowe:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a}$$

gdzie:

U_L – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale, w woltach,

R_A – rezystancja uziemienia przewodu ochronnego, w omach,

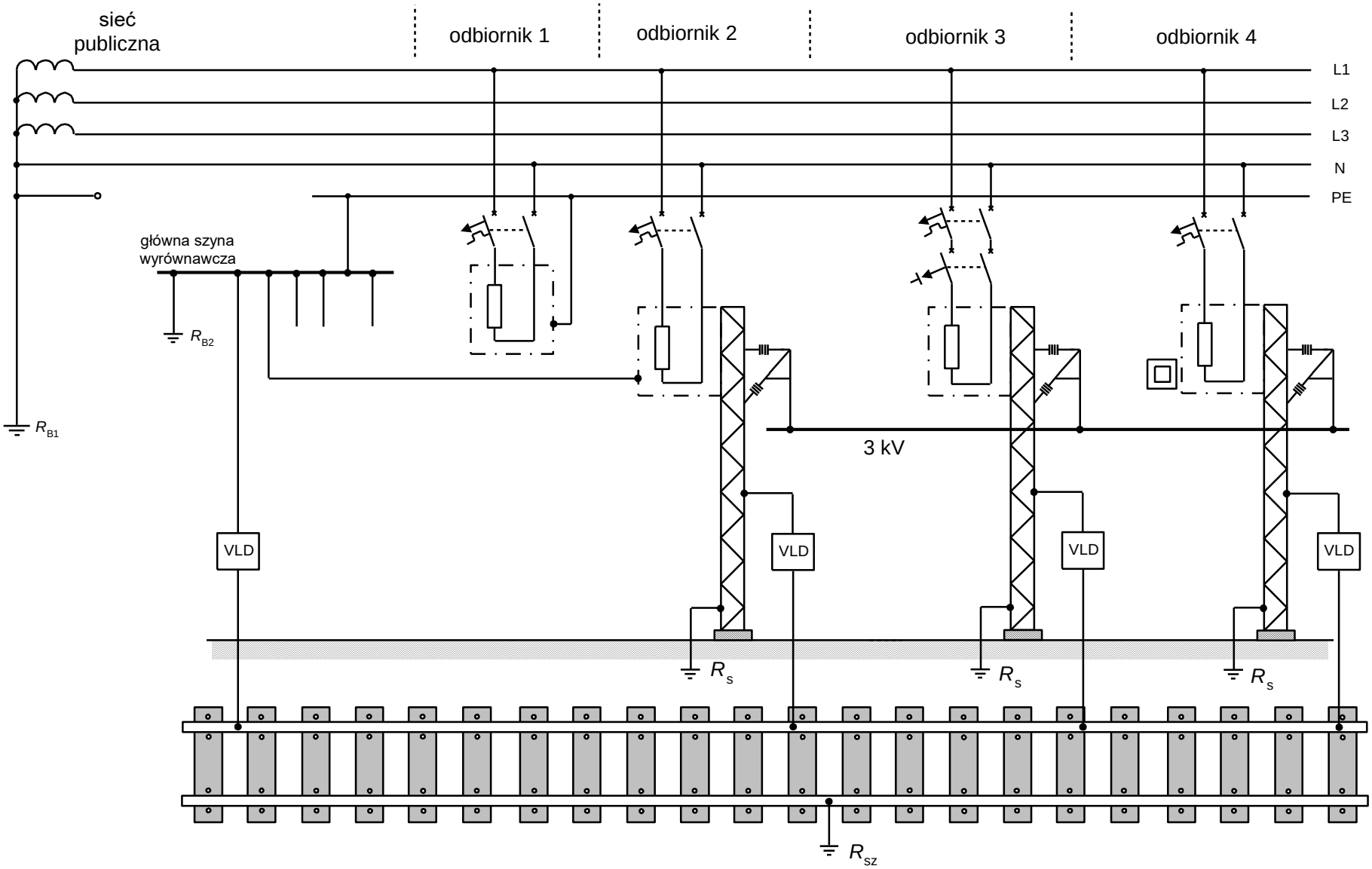
I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia, w amperach.

Inny niż podany w normie PN-HD 60364-4-41:2017 jest największy dopuszczalny czas wyłączania zasilania w układzie TT (tab.) – czas ten jest dwukrotnie większy.

Tab. Największy dopuszczalny czas wyłączania zasilania dla obwodów odbiorczych instalacji 230/400 V

Wymagania normy	Największy dopuszczalny czas wyłączania zasilania, s	
	Układ TN	Układ TT
PN-HD 60364-4-41:2017	0,4*	0,2*
PN-EN 50122-1:2011	0,4	**0,4**
* dotyczy obwodów o prądzie znamionowym nieprzekraczającym: 63 A – gniazda wtyczkowe; 32 A – odb. zainst. na stałe		

Urządzenia przytorowe – układ sieci TT



Oświetlenie elektryczne

Urządzenia i instalacje oświetleniowe w miarę możliwości należy umieszczać poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej.

Nie zawsze to jest wykonalne, zwłaszcza na peronach. Urządzenia klasy ochronności I znajdujące się w tej strefie powinny być uszynione. Nie należy ich zasilać z układu TN.

Problem bezpieczeństwa urządzeń oświetleniowych znika, jeżeli stosuje się oprawy oświetleniowe klasy ochronności II, a słupy oświetleniowe i wysięgniki są wykonane z materiałów nieprzewodzących.

Urządzenia elektrycznego ogrzewania rozjazdów

Urządzenia elektrycznego ogrzewania rozjazdów powinny być zasilane z transformatorów separacyjnych, a skrzynie zawierające te transformatory, instalowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej, powinny mieć klasę ochronności II.

Transformatory zasila się z szaf rozdzielczych elektrycznego ogrzewania rozjazdów i w nowych instalacjach powinny mieć klasę ochronności II (rys.).

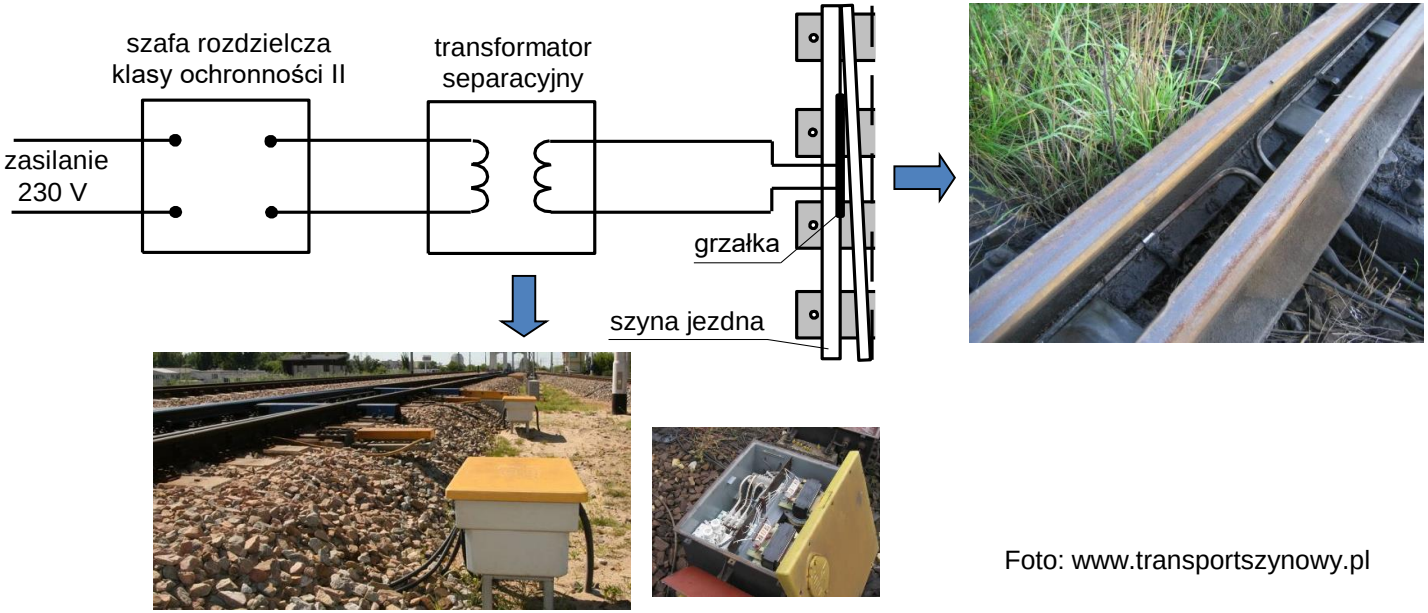


Foto: www.transportszynowy.pl

Urządzenia sterowania ruchem kolejowym

Urządzenia sterowania ruchem kolejowym zaleca się instalować poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej.

W przeciwnym razie należy je zasilać z instalacji o układzie TT lub IT. W przypadku większości tych urządzeń ważna jest niezawodność zasilania – wtedy zaleca się stosowanie układu IT.

Instalacja uziemiająca urządzeń sterowania ruchem kolejowym nie powinna mieć połączenia elektrycznego z szynami jezdnymi.

Załącznik do uchwały Nr 438/2018
Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
z dnia 12 czerwca 2018 r.

PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.

Zarządca narodowej sieci linii kolejowych

Wymagania techniczne dla zapewnienia ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym, przed przepięciami i od wyładowań atmosferycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV

Iet-120

Warszawa, 2018

1.3 Zakres zastosowania

1.3.1. Zawarte w niniejszym opracowaniu wymagania techniczne odnoszą się do budowanych, modernizowanych lub rewitalizowanych linii kolejowych.

1.3.2. Niniejsze opracowanie powinno znaleźć zastosowanie przy:

a) konstrukcji urządzeń i aparatów elektrycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV,

b) opracowywaniu dokumentacji techniczno-ruchowej (DTR) i warunków technicznych wykonania i odbioru (WTWiO) sieci jezdnej oraz powrotnej a także urządzeń i aparatów elektrycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV,

c) opracowywaniu projektów wstępnych, programów funkcjonalno-użytkowych, projektów budowlanych i projektów wykonawczych, przy procesach związanych z budową, modernizacją lub rewitalizacją linii kolejowych,

d) wykonywaniu robót budowlanych i montażowych sieci jezdnej oraz powrotnej a także urządzeń i aparatów elektrycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV,

e) odbiorach technicznych oraz przy przekazaniu do eksploatacji budowanych, modernizowanych i rewitalizowanych liniach kolejowych.

let-120

1.3.3. Dla inwestycji, polegających na modernizacji lub rewitalizacji linii kolejowych, dla których zostały podpisane umowy na projektowanie i/lub budowę przed dniem obowiązywania niniejszego dokumentu, zastosowanie mają przepisy, na podstawie których przeprowadzono postępowanie skutkujące zawarciem wspomnianej powyżej umowy.

1.3.4. Dla trwających (niezakończonych) postępowań mających skutkować wyborem wykonawcy na modernizację lub rewitalizację linii kolejowych, których zakończenie przewidywane jest po dniu rozpoczęcia obowiązywania niniejszego dokumentu, zapisy w nim zawarte mają pełne zastosowanie a dokumenty postępowania należy uzupełnić o niniejsze wymagania.

1.3.5. Wyszczególnione w opracowaniu dokumenty normatywne nie stanowią zbioru zamkniętego. Nowelizacja przywoływanych dokumentów normatywnych nie stanowi podstawy do zmiany/nowelizacji niniejszego opracowania.

Spis treści – wybrane punkty

2 CHARAKTERYSTYKA I OGÓLNE WYMAGANIA STAWIANE OCHRONIE PRZED PORAŻENIEM PRĄDEM ELEKTRYCZNYM 42

2.1 Zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym – przyczyny, przebieg i skutki 42

2.1.1 Skutki porażenia prądem − pierwotne kryteria bezpieczeństwa 42

2.1.2 Przyczyny i skutki wypadków przy pracy związanych z porażeniem prądem elektrycznym 47

2.2 Strefa oddziaływania sieci trakcyjnej 49

2.2.1 Strefa górnej sieci jezdnej i strefa odbieraka prądu 49

2.2.2 Strefa oddziaływania sieci powrotnej 51

2.2.3 Strefa prądów błądzących 52

2.3 Możliwości wykonania uziemień dla potrzeb ochrony 53

2.4 Możliwości stosowania mieszanego systemu uszynień – zalecenia i obostrzenia 54

2.5 Wymagania ogólne ochrony przeciwporażeniowej 56

2.6 Wymagania ochrony przed dotykiem bezpośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV 60

2.6.1 Warunki stosowania przeszkód ochronnych 60

2.6.2 Bezpieczne konstrukcje wsporcze górnej sieci jezdnej 63

2.7 Wymagania ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV 65

2.7.1 Rodzaje ochron przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV 65

2.7.2 Rezystancja uziemienia 70

2.7.3 Mieszany system uszynień 71

2.7.4 Mieszany system uszynień urządzeń istniejących 71

2.7.5 Poprawa bezpieczeństwa przy mieszanych systemach uszynień 74

2.8 Kolejowe urządzenia przytorowe 78

2.8.1 Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie TN 78

2.8.2 Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie TT 82

2.8.3 Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie IT 86

Spis treści – wybrane punkty

3 SZCZEGÓŁOWE WYMAGANIA STAWIANE OCHRONIE PRZED PORAŻENIEM PRĄDEM ELEKTRYCZNYM ... 88

3.1 Wymagania podstawowe ... 88

3.2 Wymagania podstawowe ochrony przed dotykiem bezpośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV ... 89

3.3 Wymagania podstawowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV. 91

3.4 Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV na szlakach kolejowych ... 95

3.5 Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV na peronach ... 96

3.6 Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV dla budowli inżynieryjnych ... 97

3.7 Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV w budynkach z wprowadzoną siecią trakcyjną ... 98

3.8 Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV w odniesieniu do kabli i rurociągów ... 98

3.9 Wymagania ochrony przeciwporażeniowej w kolejowych urządzeniach przytorowych niskiego napięcia ... 99

3.9.1 Wymagania podstawowe ... 99

3.9.2 Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie TN ... 100

3.9.3 Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie TT ... 101

3.9.4 Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie IT ... 101

3.9.5 Instalacje oświetlenia zewnętrznego w pobliżu sieci jezdnej ... 102

3.9.6 Urządzenia elektrycznego ogrzewania rozjazdów ... 103

3.9.7 Urządzenia sterowania ruchem kolejowym ... 104

3.10 Wymagania techniczne dla zalecanych elementów systemu ochrony przeciwporażeniowej ... 104

3.10.1 Ograniczniki napięcia dotykowego VLD ... 104

Dziękuję za uwagę