Stanisław Czapp
stanislaw.czapp@pg.gda.pl

Ochrona przeciwporażeniowa w sieciach elektroenergetycznych o napięciu wyższym niż 1 kV

Bydgoszcz – Toruń, 30.03.2017

Normy i przepisy

Sieć elektroenergetyczna

IEV ref	601-01-02
en	**electrical power system** **electrical power network** particular installations, substations, lines or cables for the transmission and distribution of electricity Note – The boundaries of the different parts of this network are defined by appropriate criteria, such as geographical situation, ownership, voltage, etc.

Normy i przepisy

601-03-02
stacja elektroenergetyczna — część systemu elektroenergetycznego usytuowana na określonym terenie, obejmująca głównie zakończenia linii przesyłowych i rozdzielczych, aparaturę łączeniową, budynki i ewentualnie transformatory; zawiera ona zwykłe urządzenia do sterowania i zapewnienia bezpieczeństwa sieci (np. zabezpieczenia przekaźnikowe).

Uwaga. Stacja jest często oznaczana zgodnie z rodzajem sieci, w której jest zainstalowana. Przykłady: stacja przesyłowa (w sieci przesyłowej), stacja 400 kV, stacja 20 kV.

substation (of a power system)
poste(d'un
Station (ei
электрич

IEV ref	601-03-02
en	**substation** (of a power system) a part of an electrical system, con-fined to a given area, mainly including ends of transmission or distribution lines, electrical switchgear and controlgear, buildings and transformers. A substation generally includes safety or control devices (for example protection) Note – The substation can be qualified according to the designation of the system of which it forms a part. Examples: transmission, substation (transmission system), distribution substation, 400 kV or 20 kV substation.

Normy i przepisy

466-01-01	**linia (elektroenergetyczna)** Zespół przewodów, materiałów izolacyjnych, konstrukcji oraz wszelkich niezbędnych elementów, przeznaczony do przesyłania energii elektrycznej pomiędzy dwoma punktami systemu elektroenergetycznego.	**(electric) line** **ligne (électrique)** **(elektrische) Leitung** **линия (электропередачи)**

IEV ref	466-01-01
en	**(electric) line** an arrangement of conductors, insulating materials and accessories for transferring electricity between two points of a system

Normy i przepisy

466-01-02 **linia napowietrzna**

Linia elektroenergetyczna, której przewody są zawieszone nad ziemią, najczęściej za pomocą izolatorów oraz odpowiednich konstrukcji wsporczych.

Uwaga. – Niektóre linie napowietrzne mogą być również wykonane z użyciem przewodów izolowanych.

overhead line
ligne aérienne
Freileitung
воздушная линия электропередачи

IEV ref 466-01-02

en **overhead line**
an electric line whose conductors are supported above ground, generally by means of insulators and appropriate supports

Note – Certain overhead lines may also be constructed with insulated conductors.

Normy i przepisy

466-06-01 **konstrukcja wsporcza**
słup (linii napowietrznej)

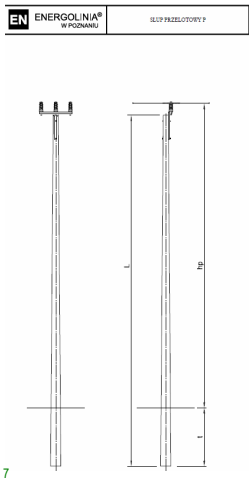
Konstrukcja, na której zawieszone są, za pomocą izolatorów, przewody linii.

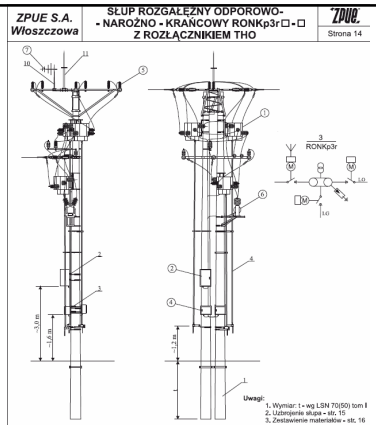
support; structure (of an overhead line)
support (de ligne aérienne)
Stützpunkt (einer Freileitung)
опора; конструкция (воздушной линии электропередачи)

IEV ref 466-06-01

en **support**
structure (of an overhead line)
a device designed to carry, through insulators, a set of conductors of a line

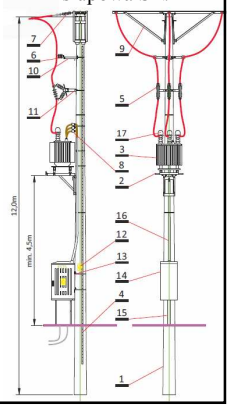
Słup przelotowy





Słup z rozłącznikiem

Stacja transformatorowa słupowa SN/nn



Normy i przepisy

1. PN-EN 61140:2016-07 – wersja angielska. Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń.
2. PN-EN 61936-1:2011 – wersja angielska. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV – Część 1: Postanowienia ogólne.
3. PN-EN 50522:2011 – wersja angielska. Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
4. *PN-E-05115:2002 – wersja polska. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.*
5. PN-EN 50341-1:2013 – wersja angielska/polska. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV – Część 1: Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne.
6. *PN-EN 50341-1:2005 – wersja polska. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV – Część 1: Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne.*
7. *PN-EN 50423-1:2007 – wersja polska. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV do 45 kV włącznie – Część 1: Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne.*
8. PN-EN 50341-3-22:2010 – wersja polska. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV – Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych – Polska wersja EN 50354-3-22:2001.
9. 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.

Normy i przepisy

10. N SEP-E-001:2012 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
11. PN-HD 60364-4-442:2012 – *wersja angielska.* 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.
12. *PN-IEC 60364-4-442:1999 – wersja polska. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przez przepięciami – Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.*
13. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2015, poz. 1422).
14. Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz.U. Nr 89, poz. 414 z późn. zm.).
15. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki.

Normy i przepisy

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

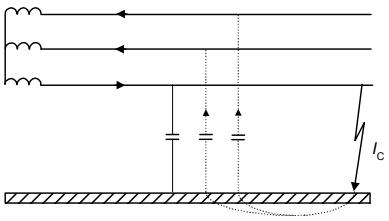
Normy i przepisy

Urządzenie	Ochrona podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)	Ochrona przy uszkodzeniu (ochrona przy dotyku pośrednim)
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.

Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

Izolowany punkt neutralny



Pojemnościowy prąd zwarcia doziemnego:

$$I_C = \sqrt{3}U\omega C$$

Współczynnik zwarcia doziemnego

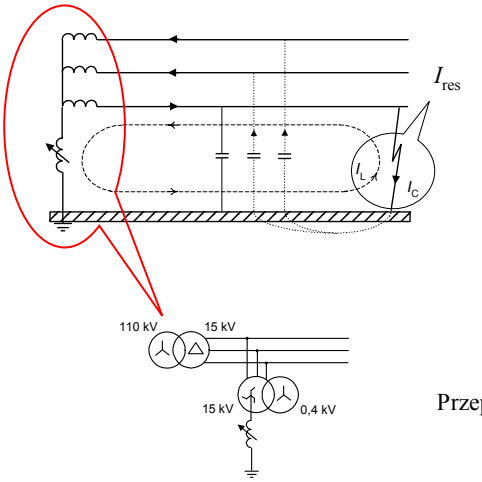
$$k_E = \frac{\text{najwyższe napięcie między nieuszkodzoną fazą a ziemią w danym punkcie podczas zwarcia doziemnego}}{\text{napięcie względem ziemi w tym punkcie po ustąpieniu zwarcia}}$$

Przepięcia: ustalone $k_E \approx \sqrt{3}$

przejściowe $k_E \approx 2{,}8\ldots4{,}5$

Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

Kompensacja ziemnozwarciowa



Prąd resztkowy:

$$I_{res} = \sqrt{I_{uR}^2 + (I_C - I_L)^2 + I_h^2}$$

$I_{uR} = (0{,}03 \div 0{,}05)\, I_C$ – prąd upływnościowy sieci

I_L – prąd dławika

I_h – prąd pochodzący od wyższych harmonicznych

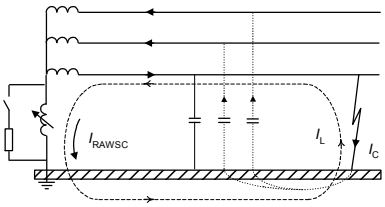
$$I_{res} \approx (I_C - I_L)$$

Przepięcia: ustalone $k_E \approx \sqrt{3}$

przejściowe $k_E \approx 2{,}4 \ldots 2{,}8$

Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

Kompensacja ziemnozwarciowa z AWSC



$$I_{res} \approx \sqrt{I_{RAWSC}^2 + (I_C - I_L)^2}$$

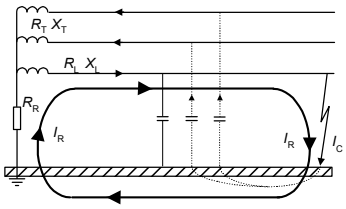
I_{RAWSC} – składowa czynna wymuszana przez rezystor

Jeżeli parametry kompensacji nie są dokładnie znane:

$$I_{res} \approx \sqrt{I_{RAWSC}^2 + (0{,}1 I_C)^2}$$

Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

Uziemienie przez rezystor



$$I_k = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

Zalecane: $I_R \geq 1{,}2 I_C$

W sieciach 15 kV i 20 kV zaleca się też:
300 A $\geq I_R \geq$ 100 A

Jeżeli I_R > 200 A, to zaleca się uwzględniać impedancję wzdłużną sieci. Wtedy:

$$I_R = \frac{c\sqrt{3}U_n}{\sqrt{(3R_R + R_T + R_L)^2 + (X_T + X_L)^2}}$$

Przepięcia: ustalone $k_E \approx \sqrt{3}$

przejściowe $k_E \approx 2{,}0 \ldots 2{,}2$

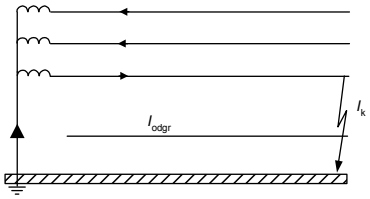
Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

Inne – rzadko spotykane:

- sieci o punkcie neutralnym uziemionym przez dławik kompensacyjny i rezystor (połączone równolegle),
- sieci z tzw. „dekompensacją” – jeżeli kompensacja ziemnozwarciowa nie jest skuteczna (nie gaśnie łuk zwarciowy), to następuje samoczynne wyłączenie dławika kompensacyjnego i w ten sposób otrzymuje się sieć o izolowanym punkcie neutralnym,
- sieci o punkcie neutralnym uziemionym przez reaktancję.

Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci NN

Punkt neutralny skutecznie uziemiony



I_k [kA] !

Przepięcia: ustalone $k_E \leq 1{,}4$

przejściowe $k_E \approx 1{,}6 \ldots 1{,}9$

Ochrona przeciwporażeniowa – podstawowa zasada

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

Ochrona przeciwporażeniowa – czas trwania rażenia

Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych (rok 1968, 1987), zeszyt 7:

„Czas występowania napięć rażenia należy przyjmować równy czasowi trwania zwarcia doziemnego, które powoduje przepływ prądu przez rozpatrywany uziom.
W układach, w których stosuje się samoczynne wyłączanie zwarć doziemnych, należy przyjmować czas trwania zwarcia doziemnego wynikający z działania zabezpieczeń podstawowych.
Jeżeli stosuje się SPZ o czasie bezprądowym krótszym niż 3 sekundy, to czasy prądowe sumuje się."

Rozporządzenie Ministra Przemysłu z 8 października 1990 r.:

„Czas trwania rażenia należy przyjmować jako równy czasowi trwania jednofazowego zwarcia doziemnego powodującego wystąpienie zagrożenia porażeniowego, przy czym:
- w urządzeniach elektroenergetycznych, w których zastosowano samoczynne wyłączenie zwarć doziemnych, za czas trwania jednofazowego zwarcia doziemnego należy przyjmować sumę czasu działania zabezpieczeń podstawowych i najdłuższego czasu wyłączenia łączników działających przy zwarciach,
- w razie zastosowania automatyki do samoczynnego ponownego załączania (SPZ) o czasie prądowym krótszym niż 3 sekundy, czasy prądowe sumuje się."

Ochrona przeciwporażeniowa – czas trwania rażenia

PN-E 05115:2002 ?

Komentarz do normy PN-E 05115:2002

„Czas trwania doziemienia to suma czasów działania zabezpieczeń (podstawowych) i czasu zadziałania wyłącznika…"

PN-EN 50522:2011 ?

PN-EN 50341-1:2013

„Za czas doziemienia należy przyjmować czas niezbędny do poprawnego zadziałania układu zabezpieczającego oraz urządzenia wyłączającego".

Ochrona przeciwporażeniowa – czas trwania rażenia

Problemy w sieciach SN:

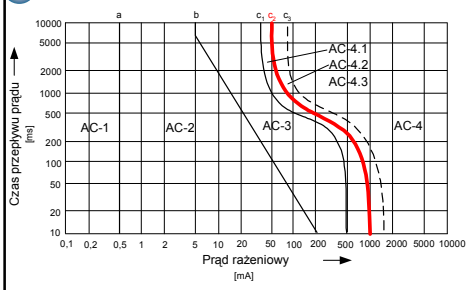
$$t_F = t_{op_AWSC} + t_z$$

t_F – czas rażenia, który należy przyjąć do określenia największego dopuszczalnego napięcia dotykowego

t_{op_AWSC} – opóźnienie załączenia układu wymuszającego składową czynną AWSC (jeżeli ten układ zastosowano), 1÷3 s

t_z – opóźnienie związane nastawą czasową zabezpieczenia podstawowego linii oraz czasem własnym wyłącznika przy wyłączaniu (ew. cyklem SPZ), 0,5÷1 s

Skutki rażenia



Pierwotne kryteria bezpieczeństwa przy urządzeniach prądu przemiennego 50 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%.

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Ochrona podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)

1) **obudowy**
2) **przegrody**
3) **przeszkody**
4) **umieszczenie poza zasięgiem**

Obudowa powinna zapewniać ochronę urządzenia przed określonymi wpływami zewnętrznymi oraz ochronę przed dotykiem bezpośrednim z dowolnej strony (odpowiedni stopień IP).

Przegrodą może być pełna ściana, drzwi lub osłona (siatka z drutu) o wysokości nie mniejszej niż 180 cm, uniemożliwiająca sięgnięcie do niebezpiecznej strefy w pobliżu części czynnych.

Przeszkodą mogą być poręcze, łańcuchy, liny, jak też ściany i drzwi oraz ekrany o wysokości mniejszej niż 180 cm. Nie mogą być one uznane za przegrody.

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Ochrona podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)

Umieszczenie poza zasięgiem polega na umieszczeniu części czynnych w odpowiedniej odległości nad dostępnymi stanowiskami. Wysokość umieszczenia części czynnych jest uzależniona od napięcia znamionowego urządzeń.

Wszystkie wymienione wyżej środki ochrony mogą być stosowane wewnątrz zamkniętych obszarów ruchu elektrycznego. Poza zamkniętymi obszarami ruchu elektrycznego można stosować tylko ochronę za pomocą obudowy lub umieszczenie poza zasięgiem.

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Ochrona przy uszkodzeniu (ochrona przy dotyku pośrednim)

Głównym środkiem ochrony przy dotyku pośrednim w sieciach i urządzeniach WN jest:

1) **uziemienie ochronne**

Na terenach instalacji elektroenergetycznych do uziomu należy przyłączać wszystkie części przewodzące dostępne. Części przewodzące obce należy uziemiać wtedy, kiedy mogą powodować zagrożenie w wyniku występowania łuku elektrycznego, sprzężenia pojemnościowego lub indukcyjnego.

Pozostałe środki ochrony jedynie wspomagają działanie uziemienia ochronnego.

Wyróżnia się następujące uzupełniające środki ochrony przy uszkodzeniu:

a) **uziom wyrównawczy** – uziom otokowy lub gęsta krata zagłębiona na niewielką głębokość pod rozpatrywanym stanowiskiem,

b) **pokrycie stanowiska warstwą izolacyjną**,

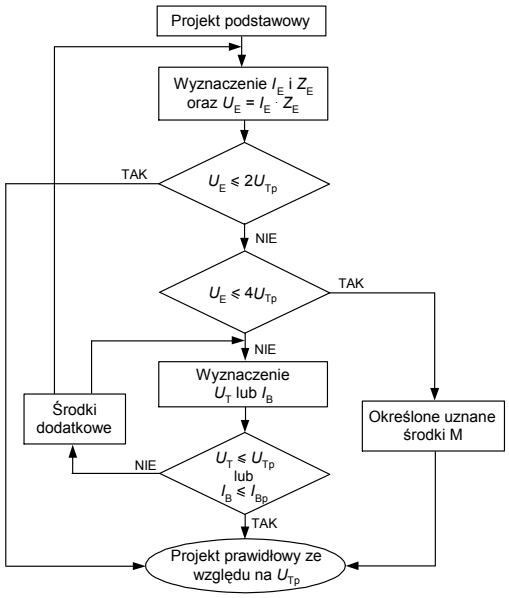
c) **wykonanie stanowiska przewodzącego** – metalowa płyta lub krata połączona z dostępnymi częściami przewodzącymi,

d) **nieprzewodzące przegrody**,

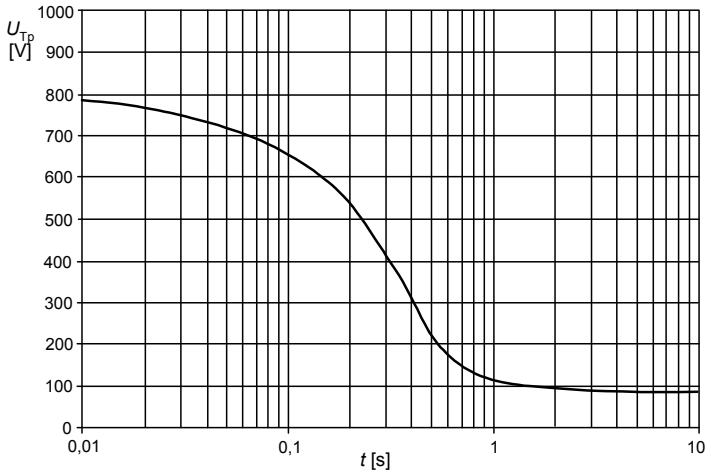
e) **wstawki izolacyjne**.

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Wymagania zawarte w normie PN-EN 50522

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

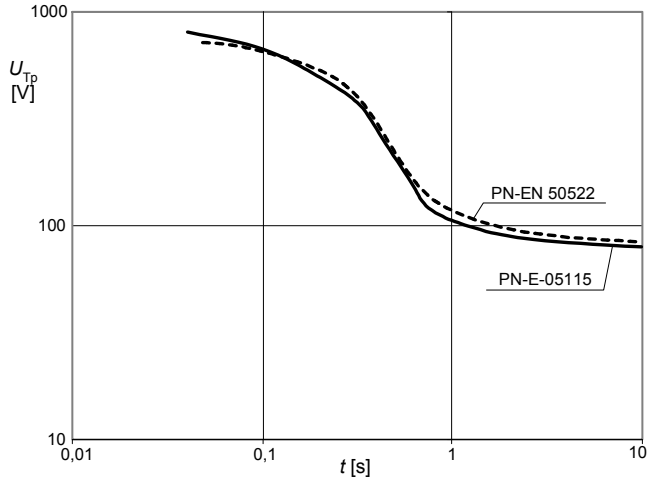


Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Napięcia dotykowe rażeniowe



Największe dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe U_{Tp} w zależności od czasu t_F przepływu prądu rażeniowego

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Napięcia dotykowe rażeniowe



Porównanie największych dopuszczalnych napięć dotykowych rażeniowych U_{Tp} w zależności od czasu przepływu prądu rażeniowego

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Napięcia dotykowe rażeniowe

Według krzywej c_2 z rys. określa się największe dopuszczalne prądy rażeniowe w funkcji czasu trwania rażenia. Dane te zawiera tablica poniżej.

Największe dopuszczalne prądy rażeniowe w zależności od czasu rażenia (doziemienia)

Czas trwania rażenia t_F [s]	Największy dopuszczalny prąd rażeniowy I_B [mA]
0,05	900
0,10	750
0,20	600
0,50	200
1,00	80
2,00	60
5,00	51
10,00	50

Wyznacza się impedancję ciała człowieka dla drogi przepływu prądu ręka–ręka dla kwantylu 50% (50% populacji ma impedancję mniejszą). Wartości tej impedancji w zależności od napięcia podano w kolejnej tablicy.

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Napięcia dotykowe rażeniowe

Impedancja ciała człowieka na drodze ręka–ręka w zależności od napięcia

Napięcie dotykowe rażeniowe U_T [V]	Impedancja ciała człowieka Z_B [Ω]
25	3250
50	2500
75	2200
100	1725
125	1550
150	1400
175	1325
200	1275
225	1225
400	950
500	850
700	775
1000	775

Impedancję tę mnoży się przez współczynnik 0,75 (rażenie na drodze ręka – obie stopy).

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Napięcia dotykowe rażeniowe

Wartość największego dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego U_{Tp} w zależności od czasu rażenia t_F uzyskuje się jako średnią ważoną dla czterech przypadków drogi przepływu prądu rażeniowego (waga 1,0: lewa ręka – obie stopy, waga 1,0: prawa ręka – obie stopy, waga 1,0: obie ręce – obie stopy, waga 0,70 ręka–ręka). Procedura ta uwzględnia współczynniki korekcyjne impedancji ciała *body factor* (BF) oraz zagrożenia migotaniem komór serca *heart current factor* (HF).

Największe dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe dla różnych czasów przepływu prądu rażeniowego

Czas trwania rażenia t_F [s]	Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} [V]
0,05	716
0,10	654
0,20	537
0,50	220
1,00	117
2,00	96
5,00	86
10,00	85
>> 10,00	80

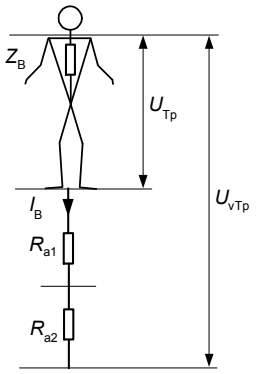
Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Napięcia dotykowe rażeniowe

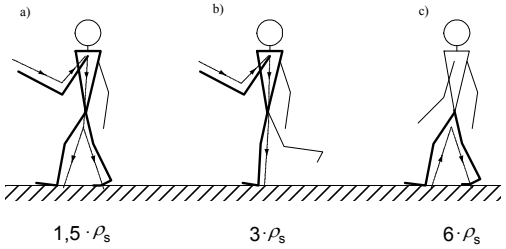
heart current factor (HF) dla różnych dróg rażenia

Droga przepływu prądu	(HF)
Lewa ręka – lewa stopa, prawa stopa, obie stopy	1,0
Prawa ręka – lewa stopa, prawa stopa, obie stopy	0,8
Plecy – lewa ręka	0,7
Plecy – prawa ręka	0,3
Pierś – lewa ręka	1,5
Pierś – prawa ręka	1,3
Pośladki – lewa ręka, prawa ręka, obie ręce	0,7

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Napięcia dotykowe rażeniowe

Dodatkowe rezystancje w obwodzie rażeniowym





Schemat obwodu rażeniowego z dodatkowymi rezystancjami:
U_{Tp} – największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe,
U_{vTp} – największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane

Dodatkowe rezystancje w obwodzie rażeniowym

Założenia do obliczeń największego dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego (z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji)

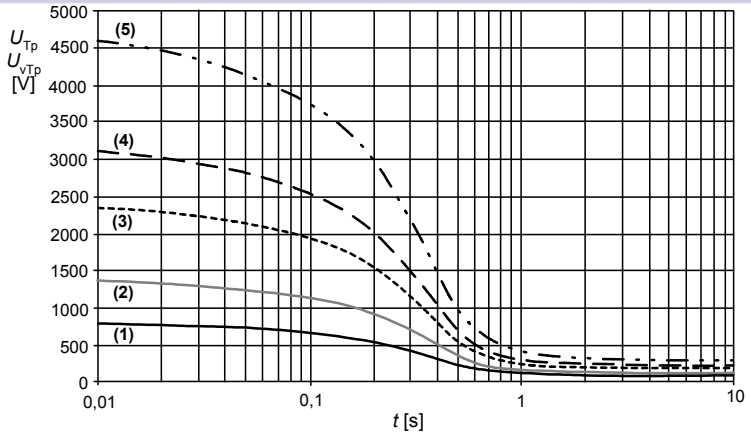
Droga prądu rażeniowego	Lewa ręka – obie stopy
Impedancja ciała człowieka Z_B	Kwantyl 50%
Prąd rażeniowy $I_B = f(t_F)$	Krzywa c_2
Impedancja obwodu rażeniowego	Z_B (50%) + R_a
Dodatkowe rezystancje	$R_a = R_{a1} + R_{a2} = R_{a1} + 1{,}5\rho_s$

Algorytm do wyznaczania największego dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego

1)	t_F	– czas trwania doziemienia
2)	$U_{Tp} = f(t_F)$	– zależność z rys.
3)	$Z_B = f(U_{Tp})$	– zgodnie z tablicą
4)	$I_B = \frac{U_{Tp}}{Z_B}$	– prąd rażeniowy
5)	$U_{vTp}(t_F) = U_{Tp}(t_F) + (R_{a1} + R_{a2}) \cdot I_B = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + \frac{R_a}{Z_B})$	– największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji

Oznaczenia:
U_{vTp} – największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji (obuwia, izolacyjnego stanowiska). Jeżeli nie ma dodatkowych rezystancji napięcie U_{vTp} jest równe U_{Tp} [V]
Z_B – impedancja ciała człowieka dla określonej wartości napięcia dotykowego rażeniowego [Ω]
I_B – prąd rażeniowy [A]
U_{Tp} – największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe [V]
R_a – dodatkowe rezystancje ($R_a = R_{a1} + R_{a2}$) [Ω], np. R_{a1} – rezystancja obuwia, R_{a2} – rezystancja stanowiska
ρ_s – rezystywność gruntu [Ωm]
t_F – czas trwania doziemienia [s]

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Napięcia dotykowe spodziewane

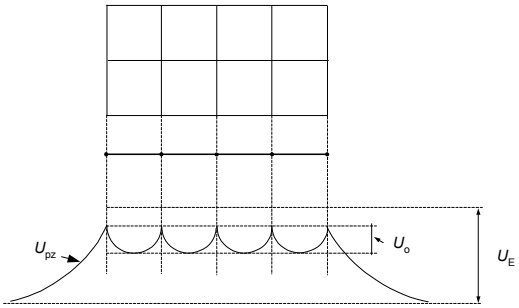


Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} (krzywa 1) i największe dopuszczalne napięcia dotykowe spodziewane U_{vTp} (krzywe 2, 3, 4, 5) z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji R_a np. obuwia, izolacyjnego stanowiska

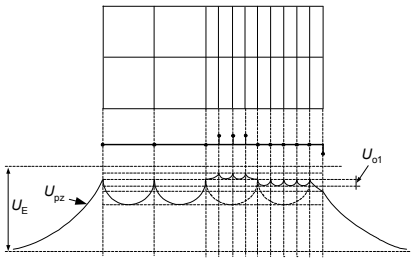
krzywa (1) – bez dodatkowych rezystancji
krzywa (2) – R_a = 750 Ω (R_{a1} = 0 Ω ρ_s = 500 Ωm)
krzywa (3) – R_a = 1750 Ω (R_{a1} = 1000 Ω ρ_s = 500 Ωm)
krzywa (4) – R_a = 2500 Ω (R_{a1} = 1000 Ω ρ_s = 1000 Ωm)
krzywa (5) – R_a = 4000 Ω (R_{a1} = 1000 Ω ρ_s = 2000 Ωm)

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Uziom kratowy – rozkład napięć

a)



b)



Rozkład napięcia uziomowego i napięć oczkowych przy zastosowaniu uziomu kratowego:
a) bez uziomów dodatkowych,
b) z uziomami dodatkowymi.
Oznaczenia: U_E – napięcie uziomowe,
U_o, U_{o1}, – napięcia oczkowe,
U_{pz} – rozkład napięcia na powierzchni ziemi

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Środki uzupełniające

M1	Określone uznane środki uzupełniające na zewnątrz budynków instalacji wnętrzowych.
M1.1	Wykonanie zewnętrznych ścian z materiałów nieprzewodzących, np. murowanych lub drewnianych, bez przewodzących elementów.
M1.2	Wyrównanie potencjałów przez zastosowanie uziomu poziomego ułożonego na głębokości nie większej niż 0,5 m, na zewnątrz ściany, w odległości około 1 m, przyłączonego do układu uziomowego.
M1.3	Zastosowanie izolacji stanowiska. Stanowisko powinno mieć takie rozmiary, aby nie było możliwe dotknięcie części przewodzących spoza tego stanowiska. Jeżeli dotknięcie części przewodzących jest możliwe tylko z kierunku bocznego, to wystarczającą jest warstwa izolacyjna o szerokości 1,25 m. Izolacja stanowiska jest wystarczająca, jeżeli zastosowano: – warstwę tłucznia o grubości co najmniej 100 mm, – warstwę asfaltu na odpowiednim podłożu np. żwirze, – pokrycie izolacyjne (matę) o minimalnej powierzchni 1000 mm × 1000 mm i grubości nie mniejszej niż 2,5 mm lub środek zapewniający równoważną izolację.

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Środki uzupełniające

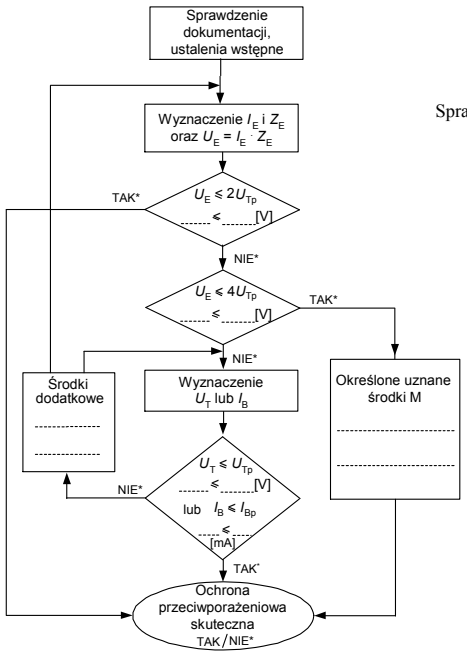
M2	Określone uznane środki uzupełniające przy zewnętrznych ogrodzeniach instalacji napowietrznych.
M2.1	Zastosowanie ogrodzenia z materiału nieprzewodzącego lub siatki drucianej pokrytej tworzywem sztucznym (również z gołymi przewodzącymi słupkami).
M2.2	W przypadku ogrodzenia wykonanego z materiału 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. Alternatywnym rozwiązaniem jest połączenie ogrodzenia z uziomem stacji (patrz także środek M2.4).
M2.3	Zastosowanie równocześnie izolacji stanowiska zgodnie z M1.3 i oddzielne uziemienie ogrodzenia lub połączenia z układem uziemiającym.
M2.4	Zastosowanie izolacji stanowiska wg M1.3 lub wyrównywania potencjałów na terenie przylegającym do otwartych bram, jeżeli bramy w zewnętrznym ogrodzeniu są połączone z układem uziemiającym bezpośrednio lub poprzez przewody ochronne lub metalową powłokę instalacji dzwonkowej. Jeżeli bramy w przewodzącym ogrodzeniu mają połączenie z głównym układem uziemiającym, to powinny być one odizolowane od przewodzących części ogrodzenia w sposób zapewniający elektryczną separację na długości co najmniej 2,5 m. Można to zrealizować przez zastosowanie sekcji ogrodzenia wykonanego z materiału nieprzewodzącego lub za pomocą wstawek izolacyjnych na obu końcach przewodzącego ogrodzenia.

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Środki uzupełniające

M3	Określone uznane środki ochrony w instalacjach wnętrzowych.
M3.1	Wyrównywanie potencjałów przez wykonanie w fundamentach budynków kratowego układu uziomowego (np. o przekrojach przewodów co najmniej 50 mm^2 i okach kraty o szerokości nieprzekraczającej 10 m lub zastosowanie konstrukcyjnych siatek stalowych) i połączenia go z układem uziemiającym, co najmniej w dwóch różnych miejscach. W przypadku wykorzystania konstrukcji żelbetowej do celów uziemień, należy obliczeniowo sprawdzić jej zdolność do odprowadzania prądów doziemnych. Jeżeli zastosowano konstrukcyjne siatki stalowe, to powinny one być ze sobą połączone i przyłączone do układu uziemiającego co najmniej w dwóch miejscach. W istniejących budynkach można zastosować uziomy poziome, które powinny być ułożone w gruncie w pobliżu zewnętrznych ścian i połączone z układem uziemiającym.
M3.2	Wykonanie metalowego stanowiska (np. w postaci metalowej kraty lub płyty), które należy połączyć z wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska i z układem uziemiającym.
M3.3	Wykonanie izolacji stanowiska wg M1.3 i połączeń wyrównawczych pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi z tego stanowiska.

Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)
Środki uzupełniające

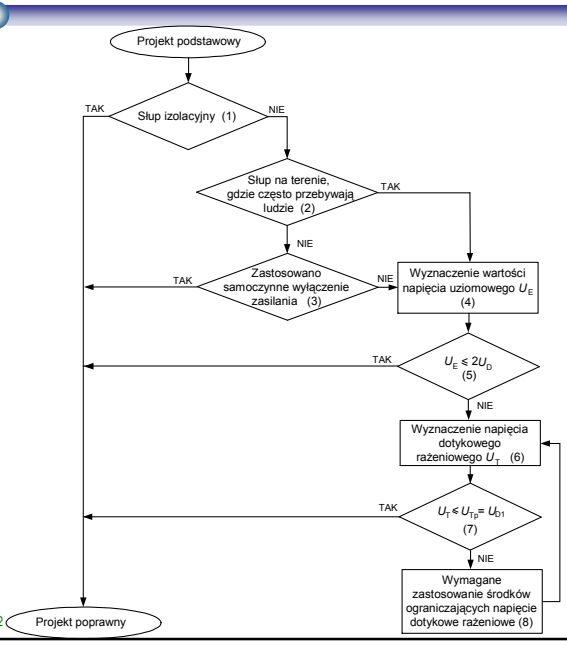
M4	Określone uznane środki w instalacjach napowietrznych.
M4.1	– Wyrównanie potencjałów za pomocą uziomu poziomego ułożonego na głębokości około 0,2 m w odległości około 1 m od obsługiwanych urządzeń. Uziom ten powinien być połączony ze wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska, lub – Wykonanie metalowego stanowiska (np. w postaci metalowej kraty lub płyty), które należy połączyć z wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska i z układem uziemiającym, lub – Wykonanie izolacji stanowiska wg M1.3 i połączeń wyrównawczych pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi z tego stanowiska.
M4.2	Wykonanie na zewnątrz uziomu kratowego rozdzielni zamkniętego uziomu otokowego. Wewnątrz tego otoku oka kraty nie powinny mieć wymiarów większych niż 10 m × 50 m. Dla pojedynczych urządzeń zlokalizowanych na zewnątrz uziomu otokowego, a które są połączone z uziomem rozdzielni, należy zastosować uziom wyrównawczy w odległości około 1 m od urządzenia i na głębokości około 0,2 m (np. wokół słupów oświetleniowych, które są połączone z uziomem rozdzielni poprzez przewód ochronny).



Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej w stacji WN

41 * niepotrzebne skreślić

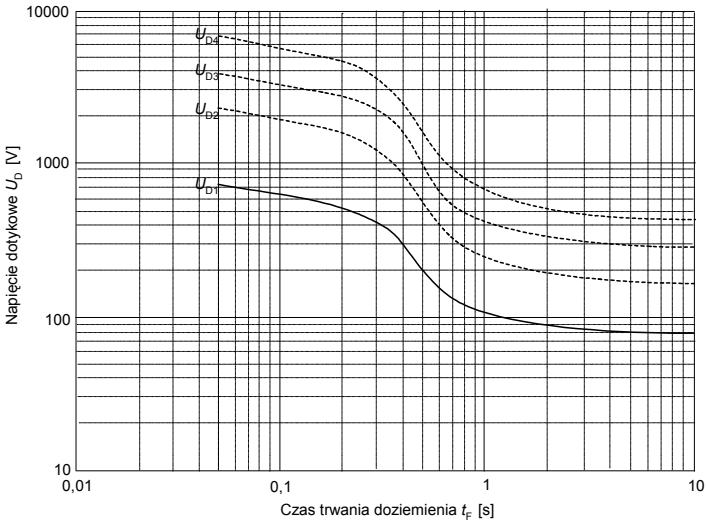
Słupy linii napowietrznych
Wymagania zawarte w normie PN-EN 50341-1



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

42

Słupy linii napowietrznych
Wymagania zawarte w normie PN-EN 50341-1

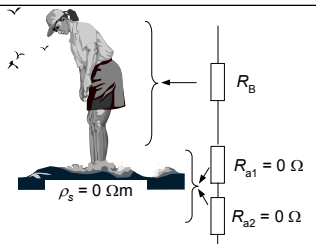


Największe dopuszczalne napięcia dotykowe U_D (U_{D1} – napięcie dotykowe rażeniowe, U_{D2}, U_{D3}, U_{D4} – napięcia dotykowe spodziewane) w funkcji czasu trwania zwarcia doziemnego t_F z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji R_a (obuwia, izolacyjnego stanowiska)

Słupy linii napowietrznych
Wymagania zawarte w normie PN-EN 50341-1

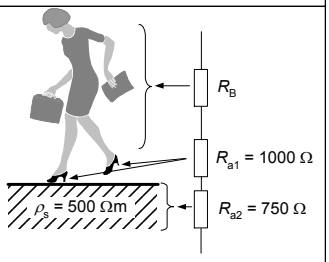
a)

Krzywa 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)

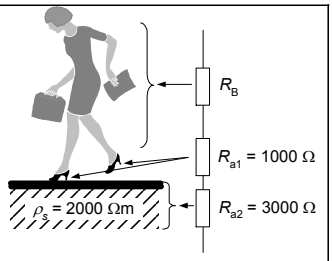
Krzywa U_{D2} – chodniki, drogi publiczne, place parkingowe itp. W tych miejscach można założyć, że ludzie noszą obuwie. Bierze się pod uwagę dodatkową rezystancję 1750 Ω.



Słupy linii napowietrznych
Wymagania zawarte w normie PN-EN 50341-1

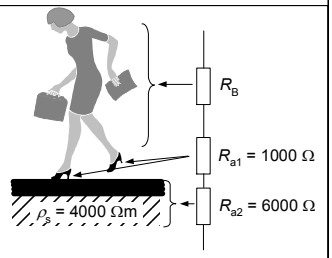
c)

Krzywa 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)

Krzywa 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.



Słupy linii napowietrznych – wymagania ze względu na ochronę odgromową i przeciwprzepięciową

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 znamionowe linii [kV]	Rezystancja uziemienia [Ω] w gruncie o rezystywności:	
	$\rho < 1000$ Ωm	$\rho \geq 1000$ Ωm
≤ 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 rezystancję uziemienia podaną w tablicy, dopuszcza się większe wartości z zastrzeżeniem, że zapewniona będzie nie mniejsza skuteczność ochrony odgromowej.

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 15 kV

Dana jest linia napowietrzna 15 kV w sieci o kompensacji ziemnozwarciowej. W sieci tej prąd resztkowy nie przekracza wartości 40 A, a czas trwania zwarcia 6 s. Należy ocenić poprawność wykonania instalacji uziemiającej przy wybranych słupach wiedząc, że wartość rezystancji uziemienia wynosi, jak w tablicy poniżej.

Dane o lokalizacji słupów i wartości rezystancji uziemienia w linii 15 kV

Nr słupa	Wartość rezystancji uziemienia słupa [Ω]	Lokalizacja słupa	Uwagi
4	$R_4 = 8$	teren leśny	---
15	$R_{15} = 9$	łąka	---
20	$R_{20} = 10$	przy ogrodzeniu posesji	---
25	$R_{25} = 7$	w pobliżu drogi publicznej	zainstalowane ograniczniki przepięć

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 15 kV

Ocena instalacji uziemiającej słupów linii średniego napięcia jest stosunkowo prosta, gdyż z reguły uziemienie słupa nie ma galwanicznego połączenia z innymi słupami, np. poprzez linkę odgromową bądź bednarkę pogrążoną w ziemi. Znając wartość rezystancji uziemienia słupa i prąd resztkowy, który jest jednocześnie prądem uziomowym, można wyznaczyć napięcie uziomowe.

W przypadku sieci o kompensacji ziemnozwarciowej czas przepływu prądu może być stosunkowo długi. Jeżeli jednak automatyka zabezpieczeniowa skutecznie wykrywa doziemienie i wyłącza uszkodzoną linię, to można uznać, że następuje wyłączenie zasilania w rozumieniu normy i **przy słupach nr 4 i 15, które znajdują się w miejscach o sporadycznym przebywaniu ludzi, nie ma konieczności sprawdzania napięć uziomowych i napięć dotykowych**. Napięcia uziomowe muszą być sprawdzane w przypadku słupów nr 20 i 25.

Napięcia uziomowe przy poszczególnych słupach rozpatrywanej linii 15 kV

Nr słupa	Wartość rezystancji uziemienia słupa [Ω]	Prąd uziomowy [A]	Napięcie uziomowe [V]
4	$R_4 = 8$	40	320
15	$R_{15} = 9$	40	360
20	$R_{20} = 10$	40	400
25	$R_{25} = 7$	40	280

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 15 kV

Słup nr 20 znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie posesji, a więc należy sprawdzić czy wartość napięcia uziomowego nie przekracza dwukrotnej wartości największego dopuszczalnego napięcia dotykowego. Z uwagi na to, że na terenie posesji **ludzie mogą chodzić boso**, należy się kierować **podstawową krzywą U_{D1}** z rysunku (*slajd 43*). W podanej sieci o kompensacji prądu ziemnozwarciowego prąd może płynąć przez 6 s, przyjęto więc największe dopuszczalne napięcie dotykowe U_{D1} = 80 V. Napięcie uziomowe przy słupie nr 20 wynosi 400 V, a więc przekracza wartość dopuszczalną równą $2U_{D1}$ = 160 V i konieczne jest sprawdzenie napięć dotykowych wokół słupa. Można też zalecić zmniejszenie rezystancji uziemienia słupa do wartości nie większej niż 4 Ω (wykonanie uziomu głębinowego), aby przy prądzie uziomowym równym 40 A napięcie uziomowe nie przekraczało wartości 160 V.

Słup nr 25 znajduje się **w pobliżu drogi publicznej**, co pozwala **korzystać z krzywej U_{D2}** na rysunku (*slajd 43*). Największe dopuszczalne napięcie dotykowe wynosi więc U_{D2} = 160 V, czyli napięcie uziomowe przy tym słupie nie powinno przekraczać wartości $2U_{D2}$ = 320 V. Napięcie uziomowe wynosi 280 V, a więc ochronę przeciwporażeniową można uznać za skuteczną.

Ze względu na ochronę przeciwprzepięciową rezystancja uziemienia słupa nr 25 nie powinna przekraczać 10 Ω, co jest spełnione.

Sposoby uziemienia punktu neutralnego a rezystancja uziemienia ochronnego słupa

	Kompensacja ziemnozwarciowa	Uziemienie przez rezystor
wartość prądu ziemnozwarciowego	40 A	300 A
czas trwania zwarcia	2 s	0,2 s
największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe	90 V	528 V
rezystancja uziemienia ochronnego	$R_E \le U_E/I_E = 2U_D/I_E$ $2 \cdot 90$ V/40 A = 4,5 Ω	$R_E \le U_E/I_E = 2U_D/I_E$ *wsp. redukcyjny* $r_E = 1$ $2 \cdot 528$ V/300 A = 3,5 Ω *wsp. redukcyjny* $r_E = 0{,}6$ $2 \cdot 528$ V/(0,6·300 A) = 5,8 Ω

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Dana jest jednotorowa linia napowietrzna 110 kV o długości 38,8 km z przewodami roboczymi AFL-6 240 mm^2. W linii zastosowano jeden przewód odgromowy AFL-1,7 95 mm^2 i słupy serii S24. Linia łączy dwie stacje GPZ. Wartość prądu zwarcia jednofazowego w GPZ1 wynosi $I_{k1}'' = 26{,}6$ kA, natomiast w GPZ2 $I_{k1}'' = 5{,}6$ kA. Należy ocenić poprawność wykonania instalacji uziemiającej przy wybranych słupach wiedząc, że wartość rezystancji uziemienia uzyskana z pomiarów miernikiem udarowym wynosi, jak w tablicy poniżej. Czas trwania zwarcia wynosi 0,5 s.

Dane o lokalizacji słupów i wartości rezystancji uziemienia w linii 110 kV

Nr słupa	Odległość od GPZ1 [m]	Wartość rezystancji uziemienia słupa [Ω]	Lokalizacja słupa	Uwagi
5	940	$R_5 = 7$	teren leśny	---
10	2150	$R_{10} = 5$	pole uprawne	---
136	35330	$R_{136} = 6$	teren miejski	dywanik asfaltowy wokół słupa
151	38500	$R_{151} = 5$	w pobliżu drogi publicznej	---

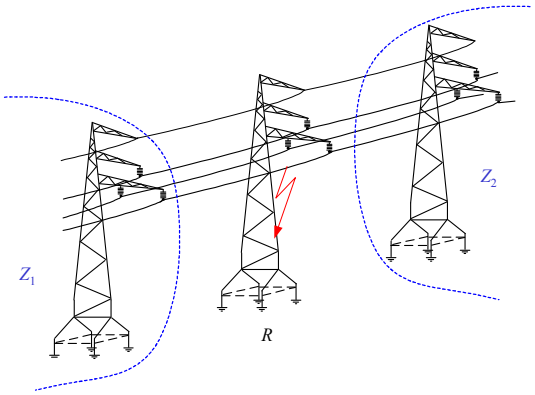
Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Aby ocenić wartość napięcia uziomowego U_E przy wskazanych słupach, potrzebne są wartości rezystancji uziemienia danego słupa R, wypadkowej rezystancji (impedancji) uziemienia linii widzianej z miejsca zwarcia w kierunku do GPZ1 – Z_1 i do GPZ2 – Z_2, tzw. impedancji wejściowej oraz wartość całkowitego prądu uziomowego I_E. Na podstawie wspomnianych impedancji można wyliczyć wypadkową rezystancję uziemienia R_w widzianą z miejsca zwarcia:

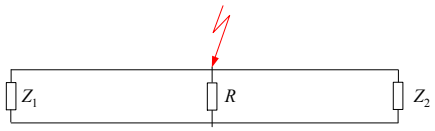
$$R_w = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{R} + \frac{1}{Z_2}}$$

Dysponując danymi o wartościach prądów zwarciowych w poszczególnych stacjach GPZ oraz o udziale rozpatrywanej linii w prądzie zwarciowym przy zwarciu w GPZ1 i GPZ2 można określić wartość prądu zwarcia jednofazowego oraz prądu uziomowego.

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV



Schemat zastępczy

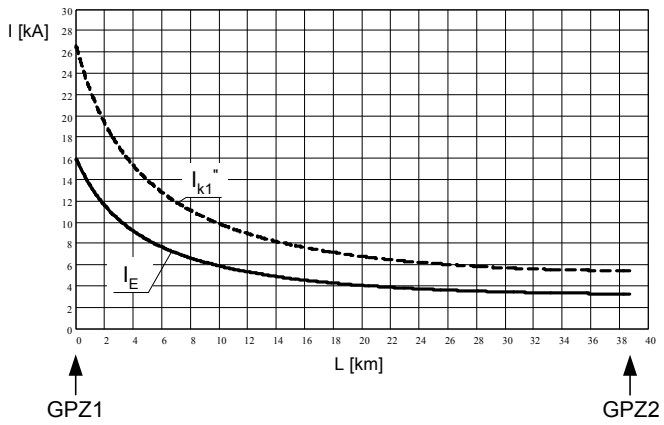


Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Impedancja wejściowa Z_{we} niektórych typowych linii napowietrznych 110 kV

Symbol serii słupa	Typ przewodu roboczego	Średnia długość przęsła [m]	Typ przewodu odgromowego	Z_{we} [Ω]					
				ρ = 100 Ωm		ρ = 300 Ωm		ρ = 500 Ωm	
				R = 10 Ω	R = 25 Ω	R = 10 Ω	R = 25 Ω	R = 10 Ω	R = 25 Ω
B2P	AFL-6 240	350	AFL-1,7 70	1,81	2,97	1,84	2,99	1,85	3,01
		340	AFL-1,7 95	1,71	2,81	1,74	2,83	1,75	2,84
		310	AFL-6 240	1,40	2,40	1,43	2,42	1,44	2,44
		400	AFL-1,7 70	1,93	3,12	1,95	3,15	1,97	3,16
		390	AFL-1,7 95	1,83	2,95	1,86	2,98	1,87	2,99
L2P	AFL-6 240	320	AFL-1,7 70	1,74	2,88	1,76	2,90	1,78	2,91
		310	AFL-1,7 95	1,64	2,72	1,67	2,74	1,68	2,76
		280	AFL-6 240	1,33	2,34	1,36	2,36	1,37	2,37
		310	AFL-1,7 70	1,74	2,84	1,74	2,87	1,75	2,88
		310	AFL-1,7 95	1,64	2,82	1,67	2,74	1,68	2,76
S12	AFL-6 120	300	AFL-1,7 50	1,77	2,95	1,79	2,96	1,79	2,97
		270	AFL-1,7 70	1,61	2,73	1,63	2,75	1,64	2,75
		270	AFL-1,7 95	1,54	2,61	1,56	2,63	1,57	2,64
		270	AFL-6 120	1,38	2,44	1,41	2,46	1,42	2,47
S24	**AFL-6 240**	320	AFL-1,7 50	1,82	3,01	1,84	3,03	1,85	3,04
		310	AFL-1,7 70	1,72	2,85	1,74	2,87	1,75	2,88
		300	**AFL-1,7 95**	**1,62**	2,69	**1,64**	2,71	**1,65**	2,73
		300	AFL-6 120	1,45	2,51	1,48	2,53	1,49	2,54
		280	AFL-6 240	1,33	2,34	1,36	2,36	1,37	2,37

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV



Wartość prądu zwarcia jednofazowego I_{k1}'' i prądu uziomowego I_E w funkcji długości linii. Współczynnik redukcyjny $r = 0{,}7$

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Słup nr 151 znajduje się **w pobliżu drogi publicznej**. W miejscu tym **mogą często przebywać ludzie, ale noszą oni obuwie i występuje pewna rezystancja wierzchniej warstwy gruntu**. Dla takiej lokalizacji można, przy określaniu dopuszczalnych napięć dotykowych, **posłużyć się krzywą** U_{D2} z rysunku (*slajd 43*). Największe dopuszczalne napięcie dotykowe wynosi $U_{D2} = 550$ V. Napięcie uziomowe przy słupie nr 151 wynosi 2700 V, a więc znacznie przekracza dwukrotną wartość napięcia dotykowego $2U_{D2} = 1100$ V. Zatem przy tym słupie należy przeprowadzić pomiary napięcia dotykowego.

W żadnym z rozpatrywanych przypadków wartość rezystancji uziemienia, zmierzona miernikiem udarowym, nie przekracza wartości dopuszczalnych ze względu na ochronę odgromową linii (*slajd 46*).

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Napięcia uziomowe przy poszczególnych słupach linii 110 kV

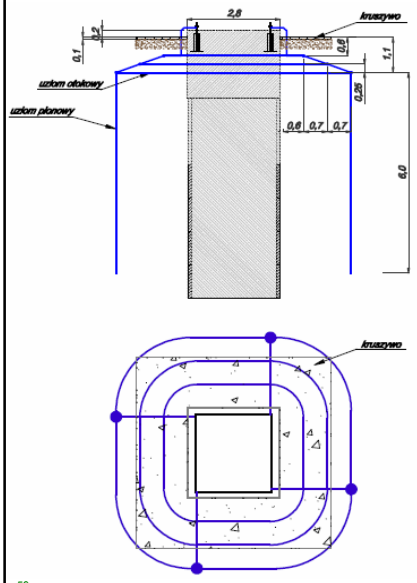
Nr słupa	Wartość rezystancji uziemienia słupa [Ω]	Wypadkowa rezystancja uziemienia R_w [Ω]	Prąd uziomowy całkowity [kA]	Napięcie uziomowe [kV]
5	$R_5 = 7$	0,74	15,8	11,7
10	$R_{10} = 5$	0,71	13,3	9,4
136	$R_{136} = 6$	0,73	3,9	2,8
151	$R_{151} = 5$	0,71	3,8	2,7

Zwarcia doziemne w linii 110 kV z pewnością są samoczynnie wyłączane. Analizując algorytm z rysunku (*slajd 42*) w przypadku słupów znajdujących się w miejscach, **w których ludzie przebywają sporadycznie**, **nie ma potrzeby sprawdzania napięć uziomowych i dotykowych. W takiej sytuacji są słupy nr 5 i 10**. Można uznać, że przy tych słupach ochrona przeciwporażeniowa jest skuteczna.

Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Słup nr 136 znajduje się na terenie miejskim, a więc mogą tam często przebywać ludzie. Ze względu na to, że **wokół słupa znajduje się dywanik asfaltowy**, można przyjąć, że występuje znaczna rezystywność warstwy powierzchniowej. Ponadto w miejscu tym **ludzie noszą obuwie**. Biorąc powyższe pod uwagę, największe dopuszczalne napięcie dotykowe może być określane na podstawie krzywej U_{D4} (*slajd 43*). Dla czasu trwania rażenia równego $t_F = 0{,}5$ s napięcie to wynosi nieco ponad $U_{D4} = 1600$ V. Ochrona przeciwporażeniowa będzie skuteczna, jeżeli wartość napięcia uziomowego nie przekroczy dwukrotnej wartości napięcia dotykowego dopuszczalnego. W tym przypadku będzie to wartość $2U_{D4} = 3200$ V. Wartość napięcia uziomowego przy słupie nr 136 wynosi 2800 V, a więc nie przekracza wartości dopuszczalnej, co pozwala ochronę przeciwporażeniową uznać za skuteczną.

Słupy linii napowietrznych – przykładowy uziom przy słupie linii 110 kV



Przykładowy układ uziomowy zmniejszający napięcia dotykowe rażeniowe – punkt sieci o dużym prądzie zwarciowym/uziomowym.

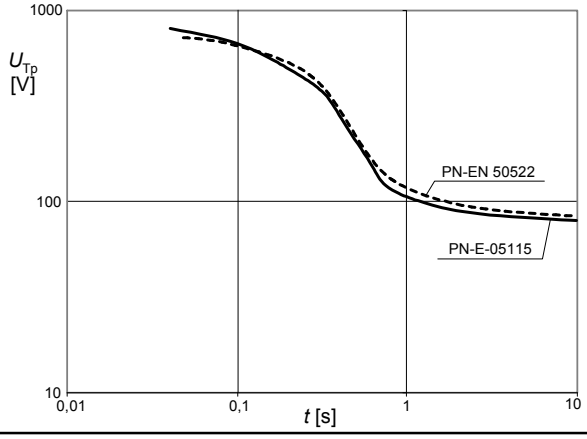
Powierzchnia gruntu wokół słupa pokryta jest kruszywem.

Największa uzyskana z pomiarów wartość napięcia dotykowego rażeniowego to 96 V (po przeliczeniu napięcia zmierzonego na wartość spodziewaną przy przepływie prądu 10 kA).

Słupy z aparaturą łączeniową, bez transformatorów SN/nn

stacja

Aparatura łączeniowa zainstalowana na słupie przewodzącym (stalowym, z betonu zbrojonego itp.) powinna być uziemiona. Na stanowisku obsługi, z którego dokonuje się czynności łączeniowych napięcia dotykowe nie mogą przekraczać wartości określonych w normie PN-EN 50522:2011.

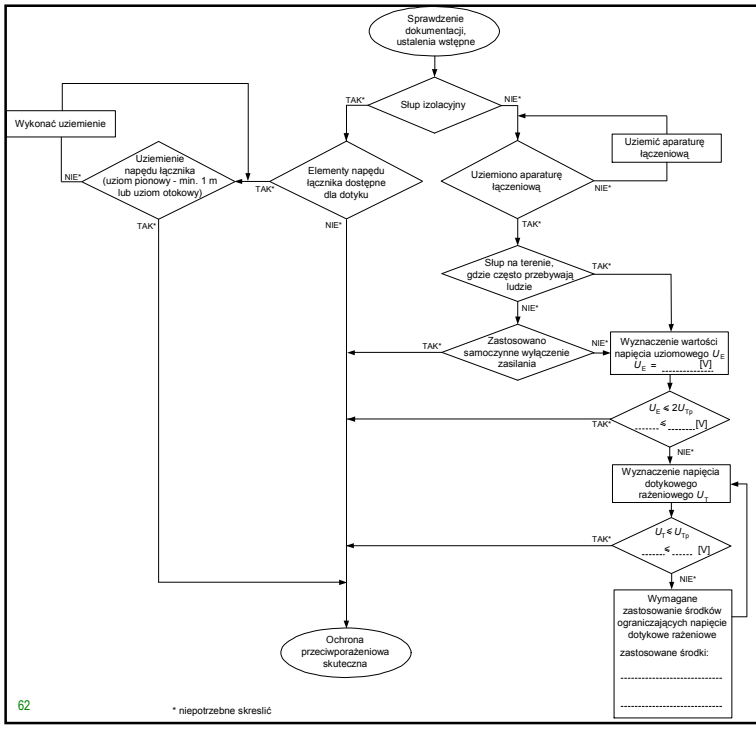


Słupy z aparaturą łączeniową, bez transformatorów SN/nn

Nie dotyczy to stanowisk, na których czynności łączeniowe są dokonywane przy użyciu sprzętu izolacyjnego (np. mat izolacyjnych, rękawic izolacyjnych, drążków izolacyjnych).

Niezależnie od tych wymagań należy wziąć pod uwagę to, że przy słupie mogą przebywać ludzie spoza personelu eksploatacji. Jeżeli przebywają tam często, to należy sprawdzać napięcia uziomowe i ewentualnie napięcia dotykowe. Jeżeli przebywają sporadycznie, to wystarczy, że linia jest samoczynnie wyłączana po wystąpieniu zwarcia doziemnego

Nie wymaga się uziemiania aparatury łączeniowej zainstalowanej na słupach nieprzewodzących, ale wtedy w napędach łączników należy zastosować izolatory zmniejszające ryzyko doziemienia. Elementy napędu łącznika dostępne dla dotyku powinny być uziemione, aby odprowadzić prądy upływowe. Wystarczający jest uziom pionowy o długości 1 m lub uziom otokowy w odległości około 1 m od słupa. Nie określa się największych dopuszczalnych napięć dotykowych.

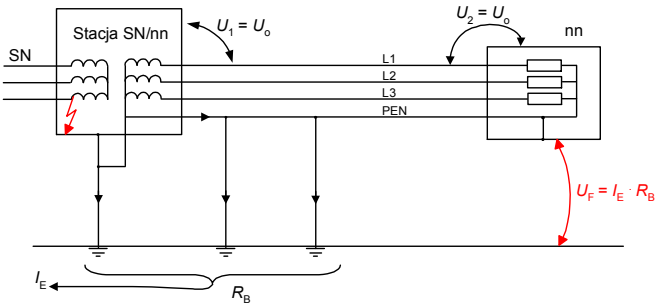


Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej przy słupie linii elektroenergetycznej wyposażonym w aparaturę łączeniową (bez transformatora SN/nn)

* niepotrzebne skreślić

Stacje SN/nn

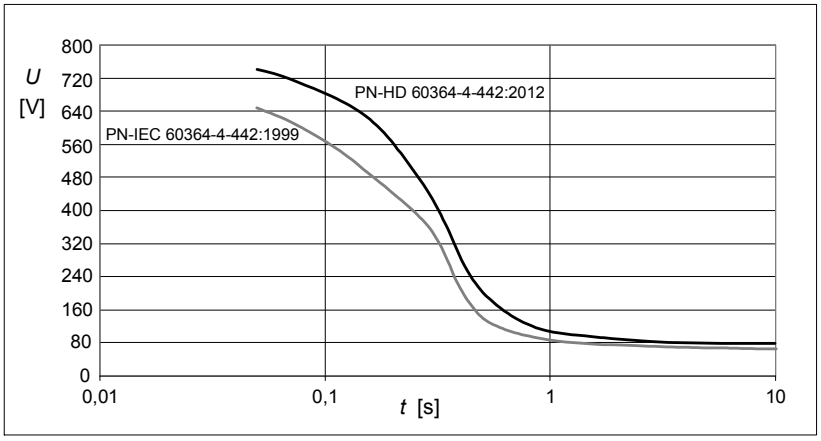
Kryterium 1 – zagrożenie porażeniowe w sieci niskiego napięcia spowodowane doziemieniem po stronie wyższego napięcia w stacji



Zastosowanie wspólnego uziemienia dla urządzeń wysokiego i niskiego napięcia. Układ sieci niskiego napięcia TN:

U_o – napięcie fazowe sieci niskiego napięcia,
U_1 – narażenie napięciowe izolacji urządzeń niskiego napięcia w stacji,
U_2 – narażenie napięciowe izolacji urządzeń niskiego napięcia poza stacją,
U_F – napięcie obudowy względem ziemi urządzeń niskiego napięcia poza stacją,
R_B – wspólne uziemienie ochronne dla urządzeń wysokiego napięcia i robocze sieci niskiego napięcia
I_E – prąd uziomowy przy zwarciu w urządzeniach wysokiego napięcia

Stacje SN/nn



Największe dopuszczalne napięcie uziomowe (zakłóceniowe) w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego – porównanie wymagań norm PN-IEC 60364-4-442:1999 i PN-HD 60364-4-442:2012

Stacje SN/nn

Największe dopuszczalne napięcia uziomowe (zakłóceniowe) U_F w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego t_F

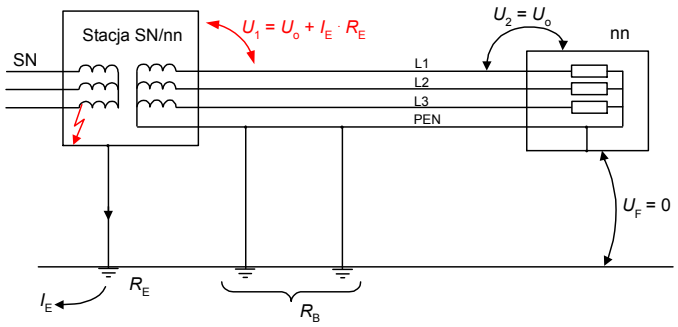
Czas trwania zwarcia t_F [s]	Napięcie U_F [V] PN-IEC 60364-4-442:1999/ PN-HD 60364-4-442:2012	Czas trwania zwarcia t_F [s]	Napięcie U_F [V] PN-IEC 60364-4-442:1999/ PN-HD 60364-4-442:2012
≥ 10	67/80	0,6	115/170
5	68/82	0,5	135/200
3	70/87	0,4	205/270
2	78/90	0,3	352/430
1	92/110	0,2	450/560
0,9	94/115	0,15	490/640
0,8	98/120	0,1	570/680
0,7	105/130	0,05	650/740

Wypadkowa rezystancja uziemienia uziomów mających połączenie z punktem neutralnym sieci niskiego napięcia nie powinna przekraczać wartości

$$R_B \le \frac{U_F}{r_E \cdot I''_{k1}} = \frac{U_F}{I_E}$$

R_B – wypadkowa rezystancja uziemienia uziomów przyłączonych do punktu neutralnego sieci TN,
U_F – największe dopuszczalne napięcie uziomowe (tablica powyżej),
I''_{k1} – prąd jednofazowego zwarcia doziemnego w sieci wyższego napięcia,
r_E – współczynnik redukcyjny,
I_E – prąd uziomowy.

Stacje SN/nn – uziemienia oddzielne



Zastosowanie oddzielnych uziemień dla urządzeń wysokiego i niskiego napięcia. Układ sieci niskiego napięcia TN:
U_o – napięcie fazowe sieci niskiego napięcia,
U_1 – narażenie napięciowe izolacji urządzeń niskiego napięcia w stacji,
U_2 – narażenie napięciowe izolacji urządzeń niskiego napięcia poza stacją,
U_F – napięcie obudowy względem ziemi urządzeń niskiego napięcia poza stacją,
R_B – uziemienie robocze sieci niskiego napięcia,
R_E – uziemienie ochronne sieci wysokiego napięcia,
I_E – prąd uziomowy przy zwarciu w urządzeniach wysokiego napięcia

Stacje SN/nn – uziemienia oddzielne

Minimalna odległość od uziemienia stacyjnego do uziemienia roboczego niskiego napięcia wynosi 20 m, jeżeli górne napięcie stacji jest mniejsze niż 50 kV. Niezależnie od wartości górnego napięcia stacji odległość tę można obliczyć ze wzoru:

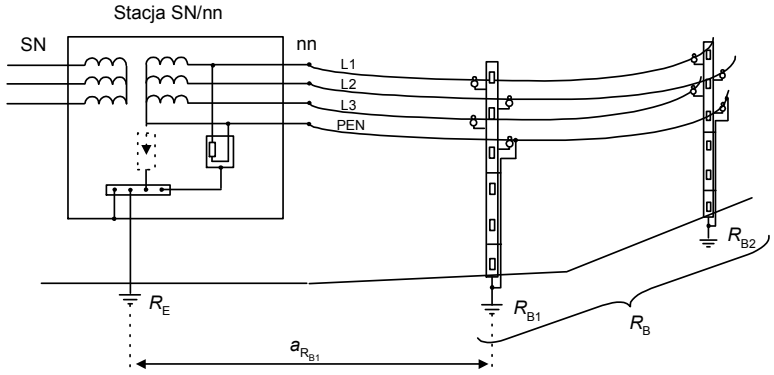
$$a_{R_{B1}} \geq \sqrt{\frac{A}{\pi}} \cdot \left[\frac{1}{\sin\left[\frac{\pi \cdot U_{aR_{B1}}}{2 \cdot U_E}\right]} - 1 \right]$$

gdzie: A – powierzchnia terenu zajęta przez uziom stacji, U_{aRB1} – największe dopuszczane napięcie w odległości a_{RB1}; U_E – napięcie uziomowe stacji.

Wykonanie oddzielnych uziemień w układzie TN powoduje zagrożenia dla izolacji urządzeń niskiego napięcia znajdujących się w stacji. Izolacja tych urządzeń nie ulegnie uszkodzeniu, jeżeli będą spełnione warunki podane zależnościami:

$U_o + 250$ V dla $t > 5$ s
$U_o + 1200$ V dla $t \leq 5$ s

Stacje SN/nn – uziemienia oddzielne

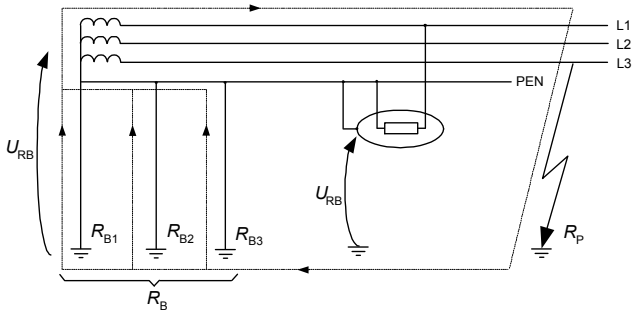


Sposób wykonania oddzielnego uziemienia ochronnego dla urządzeń wysokiego napięcia i roboczego dla urządzeń niskiego napięcia.

Jeżeli po stronie nn jest wyprowadzona linia kablowa, to żyłę PEN należy połączyć z punktem neutralnym transformatora za pomocą przewodu izolowanego.

Stacje SN/nn

Kryterium 2 – zagrożenie porażeniowe podczas doziemienia z pominięciem przewodu PEN (rozpatrywane w zasadzie wtedy, gdy występuje sieć napowietrzna niskiego napięcia o przewodach gołych)



Zagrożenie porażeniowe w sieci TN przy zwarciu przewodu fazowego z ziemią z pominięciem przewodu PEN

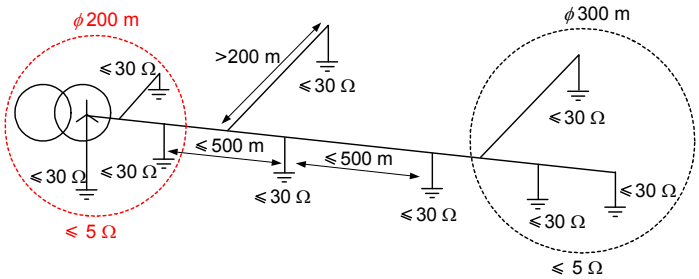
$$\frac{R_B}{R_P} \le \frac{U_L}{U_o - U_L} = \frac{50}{230-50} \Rightarrow R_B \le R_P \cdot 0{,}278 = \underline{10} \cdot 0{,}278 = 2{,}78\,\Omega$$

R_B – **wypadkowa** rezystancja uziemienia

U_L – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale,
U_o – napięcie sieci względem ziemi,
R_P – rezystancja przejścia do ziemi przewodu fazowego.

Stacje SN/nn

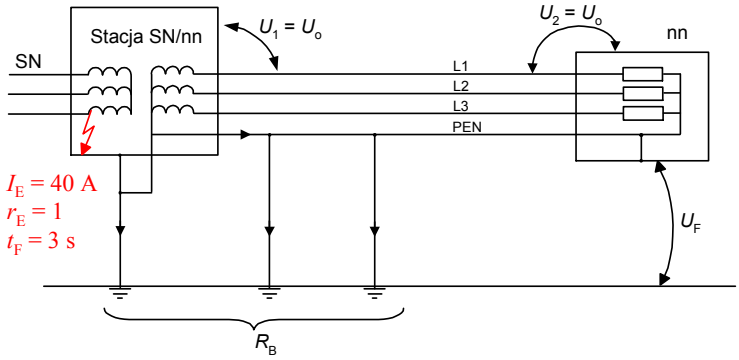
Kryterium 3 – wypadkowa rezystancja uziemienia uziemień w kole o średnicy 200 m w obrębie stacji



Uziemienie w stacji słupowej SN/nn wraz z innymi uziemieniami znajdującymi się w kole o średnicy 200 m w pobliżu stacji ma zapewnić wypadkową rezystancję uziemienia nie większą niż 5 Ω.

Jeżeli rezystywność gruntu jest większa lub równa 500 Ωm, to wartość 30 Ω można zastąpić wartością $\rho_{min}/16$ a wartość 5 Ω wartością $\rho_{min}/100$.

Stacje SN/nn – przykład

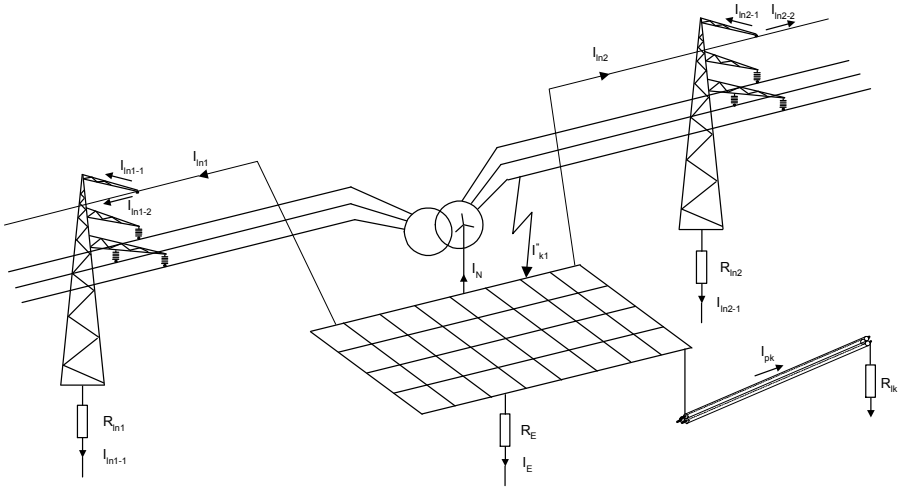


1) $R_B \le U_F/I_E = 87\ \text{V}/\ 40\ \text{A} = 2{,}175\ \Omega$

2) $\dfrac{R_B}{R_P} \le \dfrac{U_L}{U_o - U_L} = \dfrac{50}{230-50} \Rightarrow R_B \le R_P \cdot 0{,}278 = 10 \cdot 0{,}278 = 2{,}78\,\Omega$

3) $R_{B200m} \le 5\ \Omega$

Współczynnik redukcyjny



$$r_E = \frac{I_E}{I''_{k1}}$$

Współczynnik redukcyjny

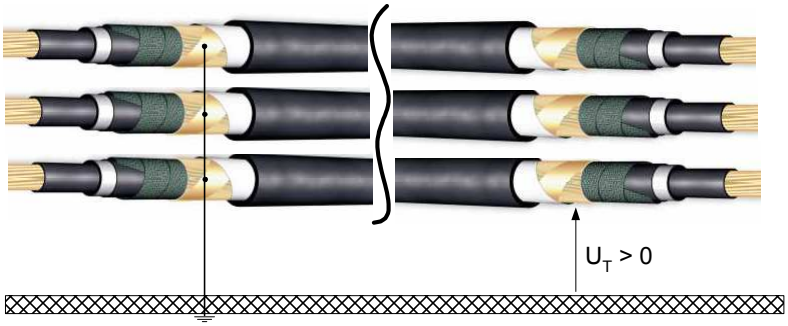
Wartości współczynnika redukcyjnego dla linii napowietrznych i linii kablowych przy częstotliwości 50 Hz

Rodzaj linii	Współczynnik redukcyjny r_E
Napowietrzna WN, 1 przewód odgromowy O/FL 50...70 mm^2	0,98
Napowietrzna WN, 1 przewód odgromowy AFL-1,7 50...70 mm^2	0,70÷0,80
Napowietrzna WN, 2 przewody odgromowe AFL	0,50÷0,60
Kabel SN Cu 95 mm^2 o izolacji papierowej z powłoką ołowianą o grubości 1,2 mm	0,20÷0,60
Kabel SN Al 95 mm^2 o izolacji papierowej z powłoką Al o grubości 1,2 mm	0,20÷0,30
Kabel SN Cu 95 mm^2 o izolacji polietylenowej z żyłą powrotną Cu 16 mm^2	0,50÷0,60
Kabel o izolacji olejowej 110 kV, 1-żyłowy Cu 300 mm^2 z powłoką Al o grubości 2,2 mm	0,37
Kabel o izolacji polietylenowej 110 kV, 1-żyłowy Cu 300 mm^2 z żyłą powrotną Cu 35 mm^2	0,32
Kabel o izolacji gazowej ciśnieniowej 110 kV w rurze stalowej 1,7 mm	0,01÷0,03
Kabel o izolacji olejowej 400 kV 1-żyłowy Cu 1200 mm^2 z powłoką Al o przekroju 1200 mm^2	0,01

Linie kablowe – napięcia indukowane

Uziemienie jednostronne – napięcia indukowane ż żyłach powrotnych

W przypadku linii kablowych wysokich napięć należy przeanalizować zagadnienie napięć indukowanych we współosiowych żyłach powrotnych. W żyle powrotnej ułożonej równolegle do przewodu przewodzacego 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

Uziemienie jednostronne – napięcia indukowane ż żyłach powrotnych

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

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

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

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

Linie kablowe – napięcia indukowane

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:

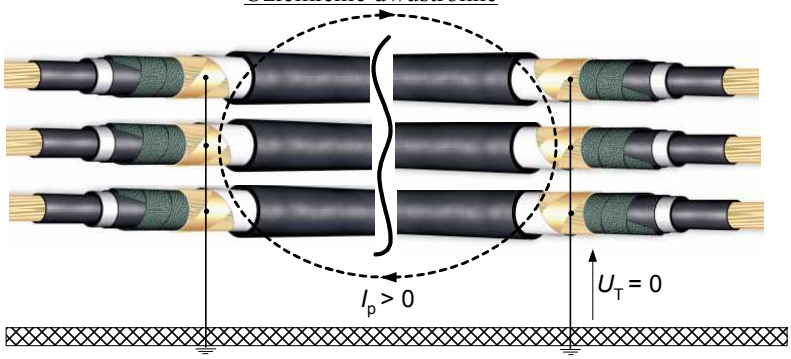
- w układzie trójkątnym symetrycznym U = 55 V,
- w układzie płaskim z kablami stykającymi się U = 85 V,
- w układzie płaskim z odstępem równym średnicy kabla U = 126 V,
- w układzie płaskim z odstępem równym 200 mm U = 152 V.

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 poprzez inne uziemienia, co również stwarza zagrożenie porażeniowe (współczynnik redukcyjny $r_E \approx 1$).

Linie kablowe – napięcia indukowane

Uziemienie dwustronne



Uziemienie dwustronne kabla wysokiego napięcia

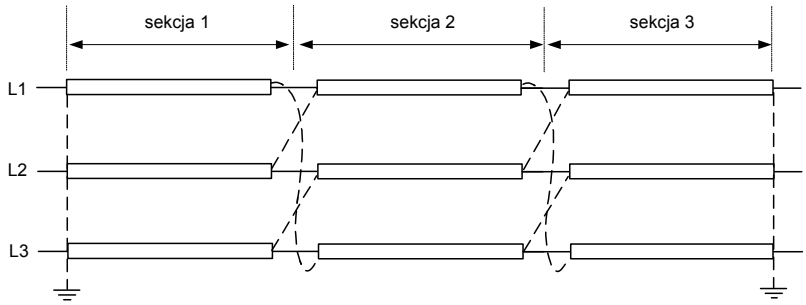
I_p – prądy indukowane płynące w żyłach powrotnych

Prądy te wywołują straty ciepła, co powoduje konieczność redukcji prądu obciążenia żyły roboczej.

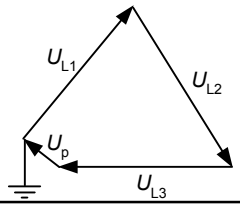
W skrajnych przypadkach straty ciepła wywołane prądami indukowanymi mogą być większe niż straty ciepła wywołane prądem roboczym.

Linie kablowe – napięcia indukowane

Cross-bonding



Krzyżowanie żył powrotnych kabla (cross-bonding)

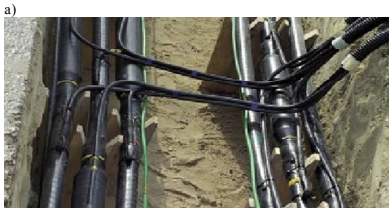


Napięcia indukowane przy zastosowaniu krzyżowania żył powrotnych (cross-bonding);
U_p – napięcie wypadkowe żył powrotnych na końcu kabla

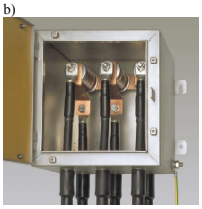
Linie kablowe – napięcia indukowane

Cross-bonding

a)

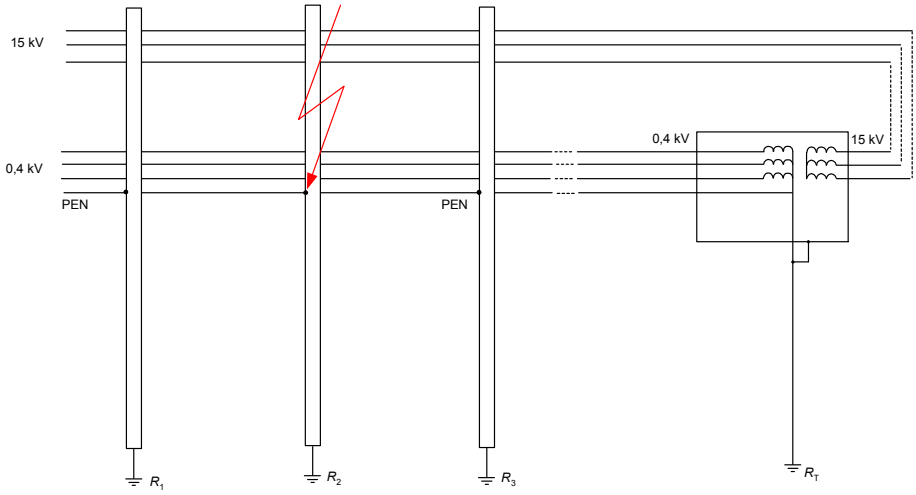


b)

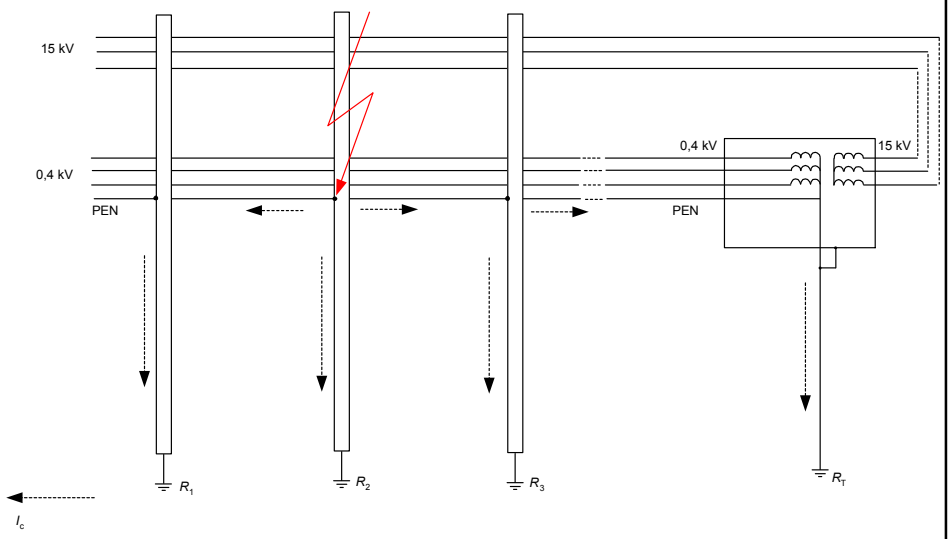


Widok:
a) linii kablowej z wykonanym połączeniami cross-bonding,
b) skrzynki, w której wykonuje się przeplecenie żył powrotnych

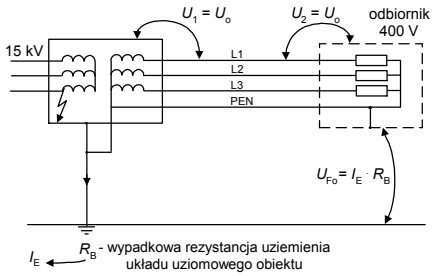
Linie o różnych napięciach na tej samej konstrukcji wsporczej



Linie o różnych napięciach na tej samej konstrukcji wsporczej



Stacja SN/nn w obiekcie przemysłowym, użyteczności publicznej itp. – układ uziomowy



Określając największą dopuszczalną rezystancję uziemienia należy sprawdzić, czy wszystkie urządzenia niskiego napięcia obiektu znajdują się w obrębie obrysu jego ekwipotencjalnego układu uziomowego. Jeżeli tak, to zwarcia doziemne w urządzeniach 15 kV nie wywołują zagrożenia porażeniowego przy urządzeniach niskiego napięcia dzięki doskonałej ekwipotencjalizacji. Układ uziomowy należałoby wtedy oceniać według wymagań normy PN-EN 50522:2011.

Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, to należy kierować się wymaganiami PN-HD 60364-4-442:2012:

$$R_B \le \frac{U_F}{r_E \cdot I''_{k1}} = \frac{U_F}{I_E}$$

Kontrola instalacji uziemiającej

Zakres kontroli instalacji uziemiającej zależy od tego, czy jest ona dokonywana podczas badań odbiorczych, czy okresowych (eksploatacyjnych). Podczas badań odbiorczych, przy oddawaniu obiektu do użytku oraz po przebudowie, należy:

- przeprowadzić oględziny przewodów uziemiających i ich połączeń oraz w miarę możliwości – uziomów (odbiór częściowy),
- sprawdzić przekroje poprzeczne elementów uziomów i przewodów uziemiających,
- sprawdzić ciągłość połączeń uziemiających,
- przeprowadzić pomiar rezystancji uziemienia,
- przeprowadzić pomiar napięć dotykowych i napięć dotykowych rażeniowych.

Kontrola okresowa, podobnie jak w przypadku stacji wysokiego napięcia zgodnie z aktualnymi przepisami, powinna odbywać się nie rzadziej niż co 5 lat i w praktyce obejmuje:

- oględziny, w tym głównie sprawdzenie stanu i stopnia skorodowania przewodów uziemiających,
- sprawdzenie ciągłości połączeń uziemiających,
- pomiar rezystancji uziemienia,
- pomiar napięć dotykowych i dotykowych rażeniowych.

Przy badaniach eksploatacyjnych bardzo ważne jest porównanie wyników z wynikami poprzednich kontroli. Różnice w wynikach mogą sugerować postępującą degradację instalacji uziemiającej.

Kontrola instalacji uziemiającej

Przed przystąpieniem do kontroli należy zapoznać się z planem instalacji uziemiającej. W planie tym powinny być zawarte informacje o materiale, z jakiego wykonano uziomy, ich umiejscowienie, punkty rozgałęzień oraz głębokość pogrążenia.

W szczególności, podczas badań odbiorczych, należy sprawdzić poprawność zaprojektowania i wykonania przewodów uziemiających i uziomów.

Przy słupach linii wchodzącej w skład sieci o stosunkowo dużej wartości prądu ziemnozwarciowego mogą być zastosowane uzupełniające środki ochrony, jak uziomy wyrównawcze lub zwiększenie rezystancji wierzchniej warstwy stanowiska.

Podczas kontroli należy zweryfikować poprawność wykonania tych środków uzupełniających.

Zaleca się odkopanie i oględziny miejsc wprowadzenia przewodu uziemiającego do ziemi i połączenia z uziomem.

Pomiar rezystancji uziemienia

Pomiar rezystancji uziemienia może być wykonany z wykorzystaniem różnych metod pomiarowych. W postanowieniach normy PN-EN 50341-1 są podane przykłady metod pomiarowych odpowiednich dla linii wysokiego napięcia. Należą do nich:

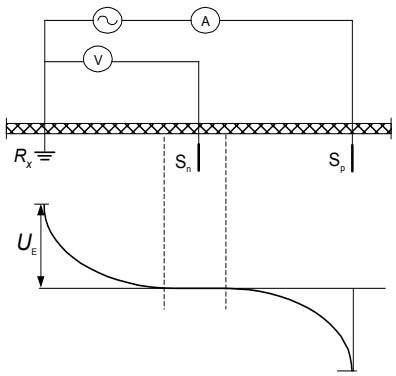
1) Metoda spadku napięcia, czyli **klasyczna metoda trójelektrodowa** z wykorzystaniem typowego miernika rezystancji uziemienia. **Wymaga się, aby częstotliwość zastosowanego napięcia przemiennego nie przekraczała 150 Hz**. Badany uziom, sonda napięciowa i sonda prądowa powinny znajdować się w linii prostej możliwie w znacznej odległości od siebie. **Wymaga się, aby odległość sondy napięciowej od uziomu badanego była co najmniej 2,5-krotnie większa od największego wymiaru terenu zajętego przez uziom (odniesionego do kierunku pomiaru), ale nie mniejsza niż 20 m, a odległość sondy prądowej co najmniej 4-krotna, ale nie mniejsza niż 40 m**. Metoda ta nadaje się do uziemień o stosunkowo niewielkich rozmiarach. Dla mało rozległych układów uziomowych dopuszcza się małe wartości prądu pomiarowego i mniejsze odległości sondy napięciowej i sondy prądowej od badanego uziemienia. Należy jednak wyeliminować wpływ napięć zakłócających na wynik pomiaru.

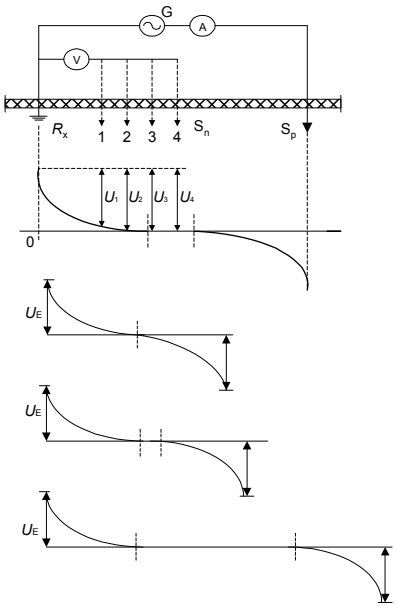
Pomiar rezystancji uziemienia

(2) **Metoda pomiaru prądem o wysokiej częstotliwości**. Częstotliwość prądu pomiarowego powinna być na tyle duża, aby nie było konieczności rozłączania przewodów uziemiających od słupa. Przy dostatecznie dużej częstotliwości wyeliminowany jest wpływ uziemień sąsiednich i dalszych słupów.

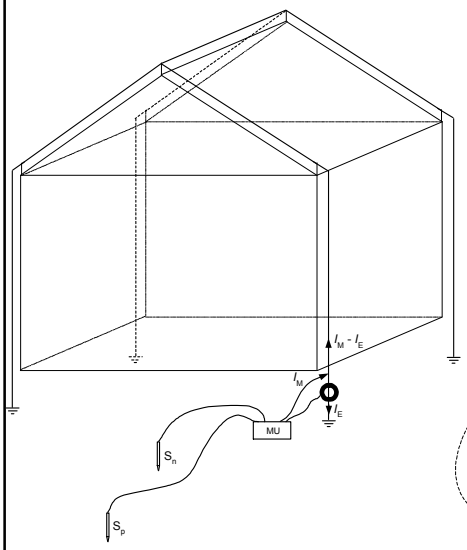
(3) **Metoda wielkoprądowa**. Metoda stosowana do pomiaru rezystancji uziemienia rozległego układu uziemiającego, który tworzą np. uziemienia linii połączone linką odgromową lub rurociąg połączony galwanicznie z uziemieniem słupa. Jako źródło prądu pomiarowego wykorzystuje się np. zespół spalinowo-elektryczny. Częstotliwość prądu pomiarowego powinna być zbliżona do sieciowej. **Nie należy odłączać od uziomu przewodów odgromowych oraz żył powrotnych kabli**. Sonda prądowa i sonda napięciowa powinny znajdować się w znacznej odległości od badanego układu uziemiającego, nawet kilka kilometrów. **Rezystancja uziemienia powinna być wyznaczona z uwzględnieniem współczynnika redukcyjnego**.

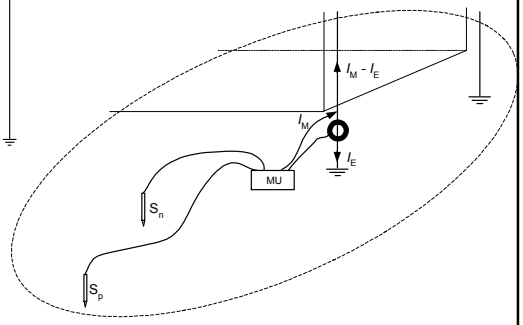
Pomiar rezystancji uziemienia



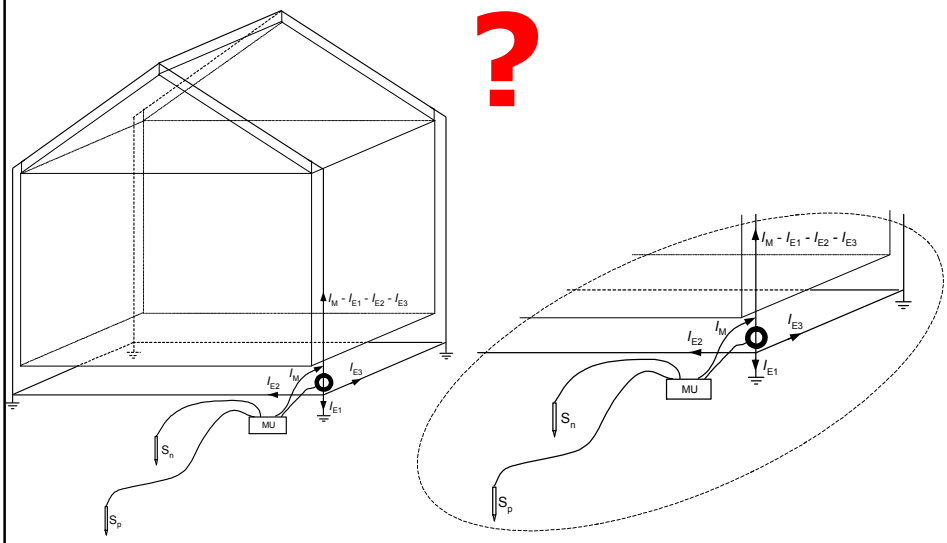


Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

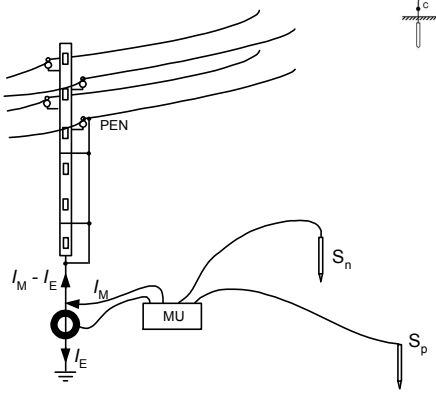


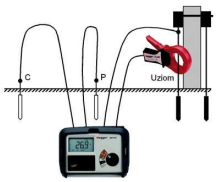


Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

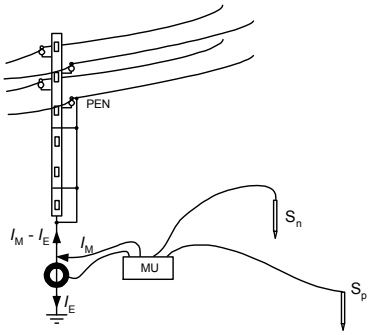


Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

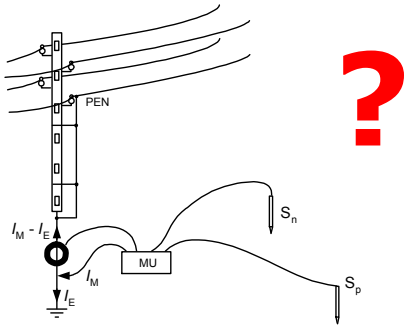




Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

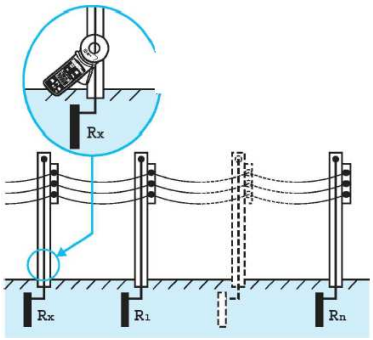


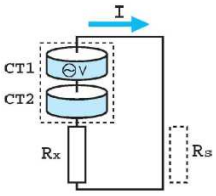
Przetwornik cęgowy mierzy I_E



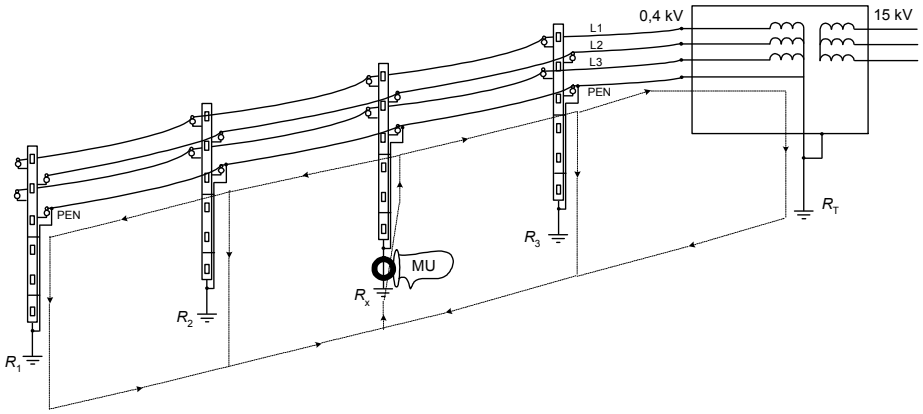
Przetwornik cęgowy mierzy $I_M - I_E$

Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

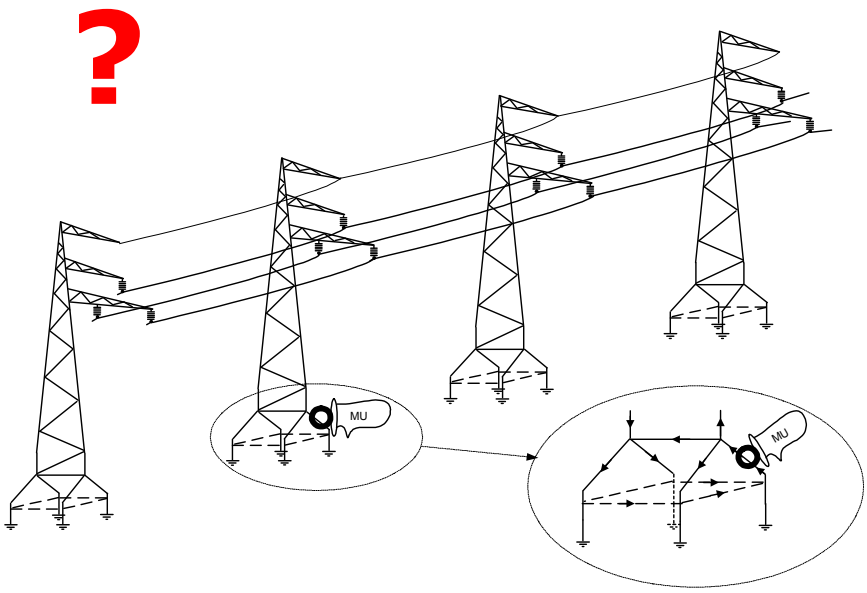




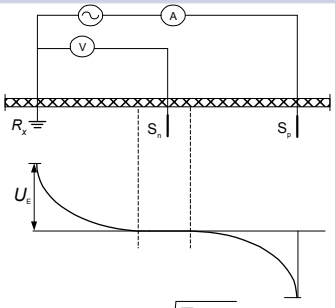
Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

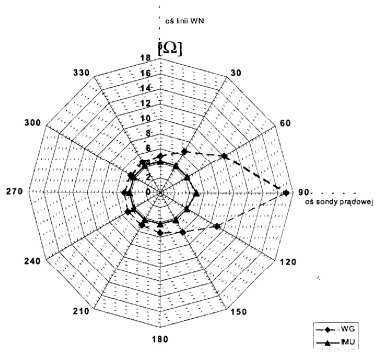


Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych



Metoda udarowa



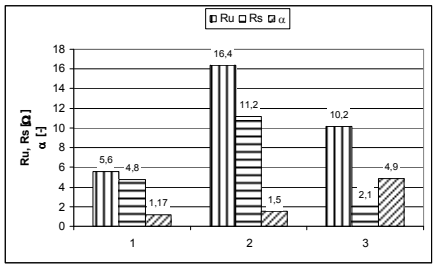


$$l_{graniczne} \le \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{T_{cz} \cdot \rho}{L}}$$

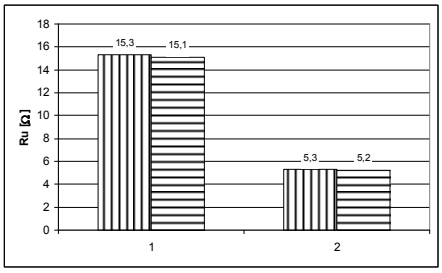
gdzie
T_{cz} – czas trwania czoła udaru,
ρ – rezystywność gruntu,
L – indukcyjność jednostkowa uziomu (1÷2 μH/m).

Zakładając, że czas trwania czoła udaru wynosi 4 μs, indukcyjność jednostkowa 2 μH/m, a rezystywność gruntu 100 Ωm, efektywna długość uziomu będzie równa 22 m. Przy rezystywności gruntu równej 500 Ωm efektywna długość uziomu wzrośnie do 50 m.

Metoda udarowa

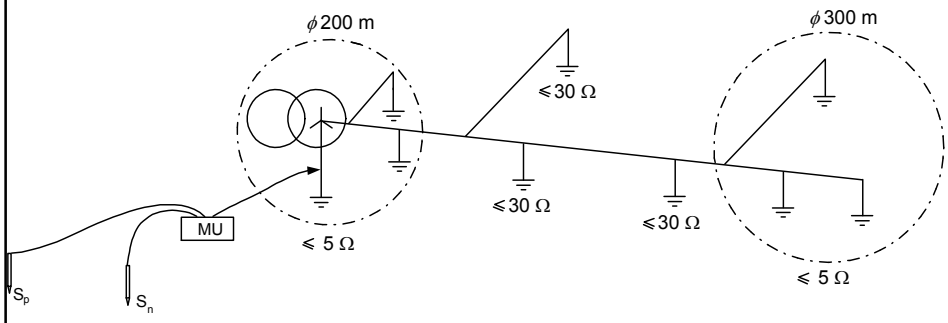


Porównanie wyników pomiaru rezystancji uziemienia metodą udarową R_u i metodą statyczną R_s; α – współczynnik udarowy rezystancji uziemienia. 1 – uziomy skupione, 2 – uziomy otokowe słupów kratowych, 3 – rozlegle uziomy linii 15 kV

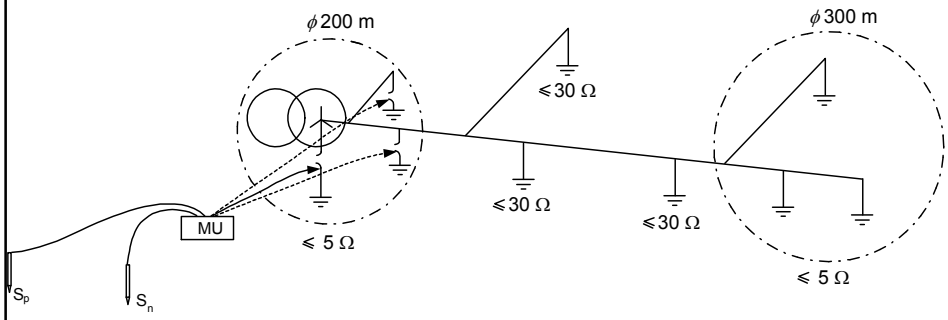


Wpływ wartości prądu pomiarowego na wynik pomiaru metodą udarową; 1 – uziom pionowy, 2 – uziom otokowy

Pomiar wypadkowej rezystancji uziemienia sieci niskiego napięcia



Pomiar wypadkowej rezystancji uziemień w kole o średnicy 200 m w obrębie stacji SN/nn



Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Wartości współczynnika k_ρ sezonowych zmian rezystancji uziemienia

Rodzaj uziomu	Wartości współczynnika k_ρ grunt w czasie pomiarów		
	suchy[1)]	wilgotny[2)]	mokry[3)]
Pionowy o $L > 5$ m	1,1	1,2	1,3
Pionowy o $L = 2{,}5 \div 5$ m	1,2	1,6	2,0
Poziomy ułożony w ziemi na głębokości 0,6÷1 m	1,4	2,2	3,0
Układ uziomowy mieszany (złożony z elementów poziomych i pionowych)	Ustala się odpowiednio do wpływu rezystancji uziomów poziomych i pionowych na rezystancję uziemienia układu		

1) Można przyjmować w okresie od czerwca do września (włącznie) z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych obfitych opadach.
2) Można przyjmować poza okresem zaliczanym do [1)].
3) Warunki, które nie dają się zakwalifikować do [1)] ani [2)].

Źródło ⇒ Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1967.

Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Wartości współczynnika k_ρ sezonowych zmian rezystancji uziemienia

Rodzaj uziomu	Wartości współczynnika k_ρ grunt w czasie pomiarów		
	suchy	wilgotny	mokry
Uziom głęboki pionowy, pod powierzchnią ziemi ponad 5 m	1,1	1,2	1,3
j.w. lecz pod powierzchnią ziemi 2,5÷5 m	1,2	1,6	2,0
Uziom poziomy ułożony w ziemi na głębokości około 1 m	1,4	2,2	3,0

Źródło ⇒ Konopacki Z., Gryżewski Z.: Prace pomiarowo-kontrolne przy urządzeniach elektroenergetycznych. COSiW SEP, Warszawa 1975.

Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Wartości współczynnika k_ρ sezonowych zmian rezystancji uziemienia

Rodzaj uziomu	Wartości współczynnika k_ρ grunt w czasie pomiarów		
	suchy	wilgotny	mokry
Uziom głęboki pionowy, pod powierzchnią ziemi ponad 5 m	1,1	1,2	1,3
Jak wyżej, lecz pod ziemią 2,5÷5 m	1,2	1,4	1,8
Uziom poziomy ułożony w ziemi na głębokości około 1 m	1,3	1,8	2,4

Źródło ⇒ Gryżewski Z.: Prace pomiarowo-kontrolne przy urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu znamionowym do 1 kV. COSiW SEP, Warszawa 1997.

Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Wartości współczynnika k_ρ sezonowych zmian rezystancji uziemienia

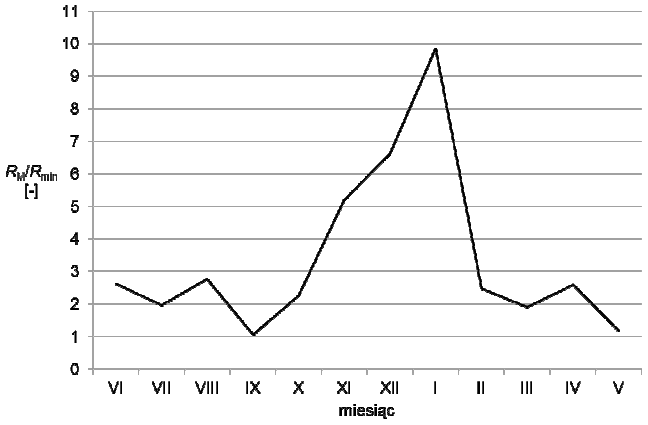
Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Zmierzona rezystywność gruntu Ωm	Wartości współczynnika k_ρ grunt w czasie pomiarów		
			suchy [1]	wilgotny [2]	mokry [3]
Pojedynczy uziom poziomy[4]	$L < 30$ m	dowolna	1,4	2,2	3,0
Uziom kratowy[4]	$S_E < 900$ m^2	$\rho \leq 200$	1,3	1,8	2,4
		$\rho > 200$	1,4	2,2	3,0
	$S_E \geq 900$ m^2	$\rho \leq 200$	1,1	1,3	1,4
		$\rho > 200$	1,2	1,6	2,0
Uziom pionowy	$L = 2{,}5 \div 5$m	dowolna	1,2	1,6	2,0
	$L > 5$ m	dowolna	1,1	1,2	1,3

1) W okresie od czerwca do września (włącznie) z wyjątkiem trzech dni po długotrwałych opadach.
2) Poza okresem zaliczanym do [1], z wyjątkiem trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu śniegu.
3) W ciągu trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu śniegu.
4) Głębokość ułożenia uziomu od 0,6 do 1 m.

Źródło ⇒ Jabłoński W.: Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia. WNT, Warszawa 2005.

Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Uziom poziomy na głębokości 0,3 m – sezonowe zmiany wartości rezystancji uziemienia



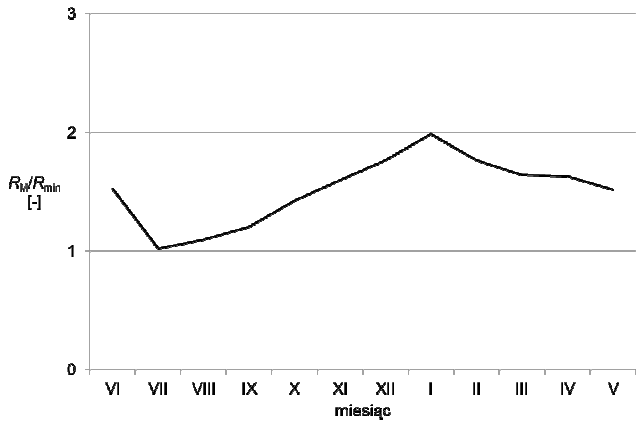
R_M – średnia rezystancja uziemienia w danym miesiącu
R_{min} – najmniejsza zmierzona rezystancja uziemienia w roku

Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Uziom poziomy na głębokości 0,8 m – sezonowe zmiany wartości rezystancji uziemienia

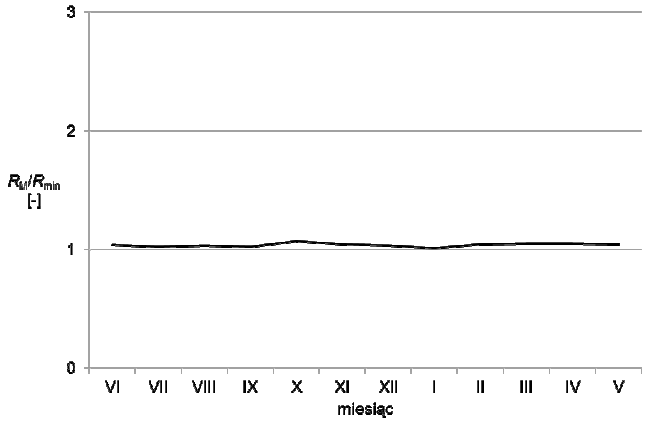
Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Uziom pionowy o długości 3 m – sezonowe zmiany wartości rezystancji uziemienia

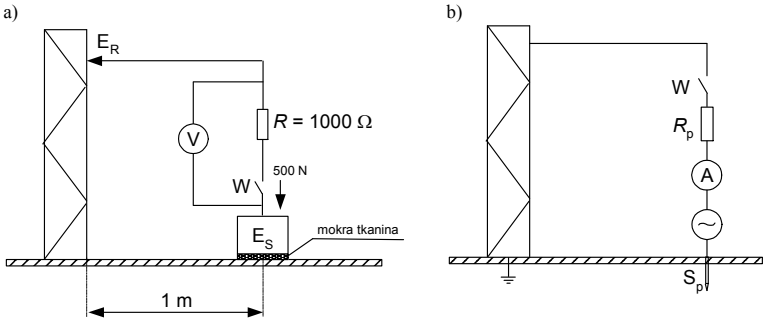


Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Uziom pionowy o długości 10,5 m – sezonowe zmiany wartości rezystancji uziemienia



Pomiar napięć dotykowych



Schemat układu do:

a) pomiaru napięcia dotykowego spodziewanego i napięcia dotykowego rażeniowego między urządzeniem i stanowiskiem,

b) wymuszania prądu pomiarowego podczas badań napięć dotykowych.

R – rezystor modelujący rezystancję ciała człowieka,

R_p – rezystor ograniczający prąd pomiarowy,

S_p – sonda prądowa