Polskie Sieci Elektroenergetyczne

STANDARDOWA SPECYFIKACJA TECHNICZNA	**Numer kodowy**
	PSE-ST.Ochrona od przepięć i koordynacja izolacji / 2020

TYTUŁ:

Zasady ochrony od przepięć i koordynacja izolacji linii i stacji elektroenergetycznych PSE S.A.

OPRACOWANO:

DEPARTAMENT STANDARDÓW TECHNICZNYCH

ZATWIERDZONO
DO STOSOWANIA

Stanisław Pokora

Elektronicznie podpisany przez Stanisław Pokora
Data: 2021.02.12 12:00:59 +01'00'

.....
Data i podpis

Konstancin-Jeziorna, …….. 2020r.

Figura Marek

Elektronicznie podpisany przez Figura Marek
Data: 2021.02.01 21:21:59 +01'00'

SPIS TREŚCI

Część I – Wstęp 4
1. Przedmiot specyfikacji 4
2. Normy i dokumenty powołane 5
2.1.Normy krajowe i międzynarodowe 5
2.2. Specyfikacje PSE SA i inne dokumenty związane z ochroną od przepięć i koordynacją izolacji 7
3. Definicje 7

Część II – Ochrona sieci o napięciu znamionowym 110 - 400kV 11
4. Uziemienie punktu neutralnego sieci 11
5. Dobór i instalowanie ograniczników przepięć 12
6. Znormalizowane poziomy izolacji w sieciach 110 - 400kV 17
7. Ochrona linii elektroenergetycznych od przepięć 17
8. Ochrona stacji od bezpośrednich uderzeń piorunów. Ochrona wież wiatrowych. 18
9. Ochrona stacji od przepięć przenoszonych przewodami roboczymi sieci 19
9.1. Wymagania ogólne 19
9.2. Transformatory o górnym napięciu znamionowym 110 - 400kV 19
9.3. Rozdzielnie o napięciu znamionowym 30kV i niższym 20
w stacjach o górnym napięciu 110 – 400kV 20
9.4. Rozdzielnie o napięciu znamionowym 110 – 400kV 20
9.5. Farmy wiatrowe 20
10. Uziemienia urządzeń ochrony od przepięć 21
10.1. Wymagania ogólne 21
10.2. Budowa uziomów stacji elektroenergetycznych 21
10.3 Budowa uziomów linii elektroenergetycznych 22
10.4. Rezystancja uziemienia 23
10.5. Przewody uziemiające 23

Część III – Ochrona sieci o napięciu znamionowym 6 – 30kV 24
11. Wybór sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci 24
11.1. Wymagania ogólne 24
11.2. Izolowanie punktu neutralnego sieci 24
11.3. Kompensacja pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego 26
11.4. Uziemienie punktu neutralnego sieci przez rezystancję 26
12. Dobór i instalowanie ograniczników przepięć 26
13. Znormalizowane poziomy izolacji w sieciach 6 – 30 kV 28
14. Ochrona linii elektroenergetycznych od przepięć 28
15. Ochrona stacji od bezpośrednich uderzeń piorunów 29
16. Ochrona stacji od przepięć przenoszonych przewodami roboczymi sieci 29
16.1. Wymagania ogólne 29
16.2. Stacje zasilające sieci niskiego napięcia 30
16.3. Stacje zasilające sieci średniego napięcia 30
17. Uziemienia urządzeń ochrony od przepięć 30

17.1. Wymagania ogólne ... 30
17.2. Budowa uziomów ... 31
17.3. Rezystancja uziemienia ... 31
17.4. Przewody uziemiające ... 31
17.5. Połączenia ograniczników przepięć z uziomami i uziemionymi częściami chronionych urządzeń ... 32

Część IV – Ochrona sieci o napięciu znamionowym 230/400V ... 32
18. Dobór i instalowanie ograniczników przepięć ... 32
19. Ochrona linii ... 33
20. Ochrona urządzeń stacyjnych ... 34
21. Uziemienia ograniczników przepięć ... 34

CZĘŚĆ V – Zasady koordynacji izolacji ... 35
22. Ogólny zarys procedury koordynacji izolacji ... 35
22.1 Napięcia i przepięcia reprezentatywne Urp ... 35
22.2 Zbiór napięć wytrzymywanych ... 39
23. Wybór znormalizowanych znamionowych poziomów izolacji ... 40
23.1. Dobór ograniczników przepięć do warunków sieciowych ... 40
i określenie przepięć reprezentatywnych ... 40
23.2. Wybór wartości znormalizowanych wytrzymywanych napięć udarowych piorunowych Uwl i łączeniowych Uws. Wybór znormalizowanego poziomu izolacji. ... 41

Część VI – Informacje dodatkowe ... 43
24. Zakresy zmian rezystywności gruntu w Polsce ... 43

CZĘŚĆ I - WSTĘP

1. Przedmiot specyfikacji

Przedmiotem dokumentu *Zasady ochrony od przepięć i koordynacji izolacji linii i stacji elektroenergetycznych*, zwanego dalej krótko ***Zasadami,*** są wymagania dotyczące wyboru sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci, doboru i instalowania oraz rozmieszczenia ograniczników przepięć z tlenków metali oraz innych środków i urządzeń przeznaczonych do ograniczania przepięć, a także wybór znormalizowanych poziomów izolacji chronionych urządzeń.
Wymagania niniejszej specyfikacji, w tym wymagania wynikające z powołanych, aktualnych norm krajowych PN i międzynarodowych IEC, innych specyfikacji PSE S.A. oraz ustaw i rozporządzeń obowiązujących w krajowym porządku prawnym muszą być spełnione na etapie prac projektowych i wykonawczych prowadzonych dla PSE S.A. *Jak zaznaczono, obowiązują aktualne wersje norm, a w przypadku norm wycofanych ostatnie ich wersje przed wycofaniem.*
W przypadku gdy wymagania niniejszej specyfikacji są bardziej rygorystyczne od wymagań zawartych w przywołanych normach i dokumentach należy wymagania niniejszej specyfikacji uznać za nadrzędne i do nich się stosować.
Terminologia stosowana w tej specyfikacji jest zgodna z określeniami podanymi w międzynarodowym słowniku terminologicznym [29] oraz podanymi w powołanych dokumentach normalizacyjnych.
Zasady stosuje się do trójfazowych sieci elektroenergetycznych prądu przemiennego o częstotliwości znamionowej 50Hz i napięciu znamionowym do 400kV włącznie, nowych i przebudowywanych w PSE S.A.
Zakres stosowania dotyczy tym samym także dokumentacji projektowej wykonywanej dla PSE S.A. obejmującej zwykle :

- studium wykonalności,
- projekt budowlany,
- projekt wykonawczy,
- dokumentację powykonawczą.

Interpretacja postanowień zawartych w Zasadach należy do Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A. (PSE S.A) lub wskazanej przez PSE S.A. instytucji.

***Uwaga*:** Projekt wykonawczy w zakresie stacji elektroenergetycznych obejmuje swoim zakresem
- obiekty podstawowe; rozdzielnie napowietrzne i wnętrzowe, stanowiska transformatorów, schematy obwodów pierwotnych i obwodów wtórnych razem z *SSiN*,
- przygotowanie i uzbrojenie terenu stacji w tym niwelację i odwodnienie, drogi wewnętrzne i dojazdowe, uziemienie, ochronę odgromową oraz ogrodzenie z systemem ochrony technicznej,
- budynki stacyjne: rozdzielnie, budynek technologiczny, kioski przekaźnikowe, sieć wodociągową i kanalizacyjną,
-system łączności.

W przypadku projektu budowlanego i wykonawczego dużej stacji elektroenergetycznej jest konieczne, w uzgodnieniu z PSE S.A., wykonanie wariantowych obliczeń symulacyjnych wpływu konfiguracji oszynowania i wyposażenia aparaturowego stacji na poziom przepięć, które mogą wystąpić w różnych miejscach stacji przy wyładowaniu piorunowym w linie elektroenergetyczne na wejściu stacji. Celem przeprowadzonej symulacji jest umożliwienie weryfikacji prawidłowości doboru, w oparciu o normę [2], znormalizowanych wytrzymywanych napięć udarowych piorunowych U_{wl} i łączeniowych U_{ws} jak w Tablicach 10 i 11 tej specyfikacji.

2. Normy i dokumenty powołane

Wymienione niżej normy i dokumenty zawierają postanowienia, które przez powołanie w treści niniejszego dokumentu stają się postanowieniami niniejszych Zasad z uwzględnieniem zapisów dotyczących wymagań przedstawionych w *Przedmiocie specyfikacji* (punkt 1).

2.1.Normy krajowe i międzynarodowe

	Numer normy	**Tytuł normy**
[1]	*PN-EN 60071-1:2020*	Koordynacja izolacji – Część 1. Definicje, zasady i reguły
[2]	*PN-EN 60071-2:2018*	Koordynacja izolacji. Część 2 Wytyczne stosowania
[3]	*PN-EN 60099-4:2015*	Beziskiernikowe ograniczniki przepięć z tlenków metali do sieci prądu przemiennego
[4]	*PN –EN 60099-5:2018*	Ograniczniki przepięć .Zalecenia wyboru i stosowania.
[5]	*PN –HD60364-1:2010*	Instalacje elektryczne niskiego napięcia
[6]	*PN-EN 50522:2011*	Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1kV
[7]	*PN –EN 61936-1:2011*	Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1kV. Postanowienia ogólne.
[8]	*PN –HD 60364-4-41:2017/A12:2020*	Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
[9]	*PN-EN 62305-3:2011*	Ochrona odgromowa. Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.
[10]	*PN-EN 62305-1:2011*	Ochrona odgromowa. Zasady ogólne.
[11]	*PN-EN 50341-1:2013*	Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1kV. Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne.
[12]	*PN-EN 50341- 2-22:2016*	Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1kV. Krajowe warunki normatywne dla Polski.
[13]	*N-SEP – E -004:2004*	Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa.
[14]	*IEC TS60815-1,2, 3:2008*	Selection and dimensioning of high voltage

		insulators intended for use in polluted conditions.
[15]	*PN-E-06303:1998*	Narażenie zabrudzeniowe izolacji napowietrznej i dobór izolatorów do warunków zabrudzeniowych.
[16]	*PN –EN 60038 :2012*	Napięcia znormalizowane.
[17]	*PN-EN 60664-1:2011*	Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia. Zasady, wymagania i badania.
[18]	*PN-EN 61643 – 11:2013*	Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia. Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia .Wymagania i metody badań.
[19]	*PKN-CLC/TS 61643 - 12:2007*	Low voltage protective devices. Surge protective devices connected to low-voltage power systems. Selection and application principles.
[20]	*PN-HD 60364-4-442:2012*	Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa .Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przepięciami dorywczymi powstającymi wskutek zwarć doziemnych układach po stronie wysokiego i niskiego napięcia.
[21]	*PN-HD 60364-4-443:2016*	Instalacje niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed zaburzeniami napięciowymi i zaburzeniami elektromagnetycznymi. Ochrona przed przejściowymi przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi.
[22]	*PN-EN 60076-3:2014*	Transformatory. Poziomy izolacji, próby wytrzymałości elektrycznej zewnętrzne odstępy izolacyjne w powietrzu.
[23]	*PN-EN 60909-0:2016*	Prądy zwarciowe w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Obliczanie prądów.
[24]	*PN-IEC 60050-466:2002*	Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki- Elektroenergetyczne linie napowietrzne.
[25]	*IEEE C62.11™ -2012*	Norma IEEE dla ograniczników przepięć z tlenków metali przeznaczonych do sieci elektroenergetycznych prądu przemiennego.
[26]	*IEEE C57.142™ -2010*	Guide to describe the occurrence and mitigation of switching transients induced by transformers, switching devices and system interaction.
[27]	*PN-EN 62271-1:2018 - 02*	Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterow-nicza. Część 1:Postanowienia wspólne dla aparatury rozdzielczej i sterowniczej prądu przemiennego.

2.2. Specyfikacje PSE SA i inne dokumenty związane z ochroną od przepięć i koordynacją izolacji

Numer specyfikacji		Nazwa specyfikacji
[28]	*PSE S.A.-ST. ograniczniki 110kV,220kV,400kV*	Ograniczniki przepięć do sieci 110kV, 220kV i 400kV
[29]	*PSE S.A.*	Instrukcja ruchu i eksploatacji sieci przesyłowej. *Część ogólna. Wersja 2.9*
[30]	*PSE S.A. : (w trakcie aktualizacji)*	Wymagania techniczne PSE S.A. dla przewodów energetycznych skojarzonych z włóknami *światłowodowymi (OPGW i MASS). Wydanie III*
[31]	*PSE S.A.*	Specyfikacje techniczne dla autotransformatorów.
[32]	*PSE S.A.- SF.Siatka Uziemień*	Specyfikacja techniczna dla siatki uziemienia stosowanej na stacjach elektroenergetycznych PSE S.A.
[33]	*PSE S.A. -TS.*	Uziemienia linii napowietrznych.
[34]	*PTPiREE*	Ochrona sieci elektroenergetycznych od przepięć. Wskazówki wykonawcze.
[35]	*PSE S.A.-SF STACJE*	Stacje elektroenergetyczne najwyższych napięć

Uwaga: Specyfikacje techniczne PSE S.A. znajdują się na stronie https://www.pse.pl/dokumenty

3. Definicje

3.1. **Napięcie znamionowe sieci U_n**. Odpowiednio zaokrąglona wartość napięcia określająca lub identyfikująca sieć.

3.2. **Najwyższe napięcie sieci U_s**. Największa wartość skuteczna międzyfazowego napięcia roboczego, która występuje w normalnych warunkach pracy sieci w dowolnym miejscu i czasie.

3.3. **Najwyższe napięcie urządzenia U_m**. Największa wartość skuteczna napięcia międzyfazowego, do którego urządzenie jest przewidziane z uwagi na jego izolację i inne charakterystyczne parametry odnoszące się do tego napięcia, określone przez normy dotyczące tego urządzenia.

Uwaga : W normie [27] przywołuje się definicję znamionowego napiecia urządzenia (U_r) która jest różna od definicji podanych w punktach 3.1 i 3.5. Napięcie znamionowe urzadzenia (U_r) definiuje się tam jako znamionowe napięcie międzyfazowe równe maksymalnemu napieciu sieci na jakie urządzenie zostało zaprojektowane. Tym samym wskazuje ono maksymalną znamionową wartość najwyższego napięcia sieci w której urzadzenie może być zainstalowane.

3.4. **Beziskiernikowy ogranicznik przepięć z tlenków metali.** —Ogranicznik składający się z warystorów, z tlenków metali, połączonych szeregowo lub równolegle –bądź szeregowo i równolegle – bez jakichkolwiek szeregowych lub równoległych iskierników w obudowie z wyprowadzonymi zaciskami przeznaczonymi do wykonywania połączeń elektrycznych i mechanicznych zwany dalej krótko *ogranicznikiem przepięć* lub *ogranicznikiem*.

3.5. **Napięcie znamionowe ogranicznika U_r**. Najwyższa dopuszczalna 10 sekundowa wartość skuteczna napięcia częstotliwości sieciowej między zaciskami ogranicznika, zweryfikowana wynikami badań przepięciami dorywczymi (TOV) i wynikami badań zdolności pochłaniania energii.

3.6. **Napięcie trwałej pracy ogranicznika U_c.** Zadeklarowana dopuszczalna wartość skuteczna napięcia częstotliwości sieciowej, które może być trwale przyłożone między zaciski ogranicznika zgodnie z punktem 8.7 [3]

3.7. **Znamionowy (impulsowy wg [3]) prąd wyładowczy ogranicznika I_n**. Wartość szczytowa prądowego udaru, która jest stosowana do sklasyfikowania ogranicznika.

3.8**. Udar prądowy łączeniowy ogranicznika**. Wartość szczytowa udaru prądu wyładowczego, którego czas czoła jest dłuższy niż 30μs, lecz nie dłuższy niż 100μs, a czas do półszczytu jest w przybliżeniu równy dwukrotnej wartości czasu czoła.

3.9. **Graniczny udar prądowy ogranicznika**. Wartość szczytowa udaru prądowego mającego kształt udaru 4/10μs, który jest stosowany do sprawdzania odporności ogranicznika na bezpośrednie uderzenie pioruna.

3.10. **Napięcie obniżone ogranicznika U_{res}.** Wartość szczytowa napięcia występującego na zaciskach ogranicznika podczas przepływu prądu wyładowczego.

3.11. **Piorunowy poziom ochrony ogranicznika U_{pl}**. Największa wartość napięcia obniżonego przy znamionowym prądzie wyładowczym I_n.

1.12. **Piorunowy (lub łączeniowy) poziom ochrony U_{pl} (lub U_{ps})**. Największa dopuszczalna wartość szczytowa napięcia na zaciskach urządzenia ochronnego, poddanego w określonych warunkach oddziaływaniu udaru piorunowego (lub łączeniowego).

1.13. **Znamionowy prąd zwarciowy I_s** Najwyższa wartość prądu częstotliwości sieciowej uzyskana w badaniach, którego przepływ przez uszkodzony ogranicznik, jako prądu zwarciowego nie spowoduje rozerwania osłony ogranicznika ani otwartego płomienia przez więcej niż 2 minuty w warunkach określonych w badaniach [3].

3.14. **Współczynnik zwarcia doziemnego *k***. Stosunek wartości skutecznej najwyższego napięcia częstotliwości sieciowej między zdrową fazą a ziemią w danym miejscu, przy danej konfiguracji sieci trójfazowej, w czasie zwarcia do ziemi jednej lub większej liczby faz w danym punkcie sieci, do wartości skutecznej napięcia częstotliwości sieciowej, która wystąpiłaby w rozpatrywanym miejscu bez zwarcia.

3.15. **Sieć z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym**. Sieć, w której chociaż jeden punkt neutralny jest uziemiony bezpośrednio.

3.16. **Sieć z punktem neutralnym izolowanym**. Sieć, której żaden punkt neutralny nie jest celowo połączony z ziemią z wyjątkiem połączeń o dużej impedancji, przeznaczonych do celów zabezpieczeniowych lub pomiarowych.

3.17. **Sieć skompensowana za pomocą dławika gaszącego**. Sieć, której co najmniej jeden punkt neutralny jest połączony z ziemią przez reaktancję, która w przybliżeniu kompensuje składową pojemnościową prądu zwarcia jednofazowego.
3.18. **Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez impedancję.** Sieć, w której chociaż jeden punkt neutralny jest uziemiony przez odpowiednią impedancję celem zmniejszenia wartości prądów doziemienia.

3.19. **Napięcie wytrzymywane.** Wartość napięcia probierczego, stosowanego w określonych warunkach podczas próby wytrzymałości elektrycznej, w trakcie której dopuszcza się wystąpienie określonej liczby wyładowań zupełnych. Napięcie wytrzymywane określa się jako:
a) napięcie wytrzymywane konwencjonalne, gdy dopuszczalna liczba wyładowań zupełnych jest równa zeru. Przyjmuje się, że prawdopodobieństwo nie przekroczenia wytrzymałości wynosi wtedy $P_w = 100\%$;
b) napięcie wytrzymywane statystyczne, gdy dopuszczalna liczba wyładowań zupełnych jest odniesiona do określonego prawdopodobieństwa nieprzekroczenia wytrzymałości izolacji. W normie [2] przyjmuje się, że to prawdopodobieństwo jest równe $P_w = 90\%$.

3.20. **Wymagane napięcie wytrzymywane U_{rw}.** Napięcie probiercze, które izolacja powinna wytrzymać podczas znormalizowanej próby wytrzymałości elektrycznej, przeprowadzanej w celu wykazania, że układ izolacyjny spełni kryterium poprawnego działania, gdy będzie poddany oddziaływaniu przepięć danej kategorii w rzeczywistych warunkach pracy oraz przez cały czas eksploatacji. Wymagane napięcie wytrzymywane ma kształt napięcia wytrzymywanego koordynacyjnego i jest wyznaczane z uwzględnieniem wszystkich warunków znormalizowanej próby wytrzymałości elektrycznej wybranej do jej sprawdzenia.

3.21**. Znamionowe napięcie wytrzymywane** Wartość napięcia probierczego stosowanego podczas znormalizowanej próby wytrzymałości elektrycznej, która pozwala sprawdzić, czy izolacja jest dostosowana co najmniej do jednego spośród wymaganych napięć wytrzymywanych. Jest to wartość znamionowa dla izolacji danego urządzenia.

3.22. **Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane U_w.** Znormalizowana wartość znamionowego napięcia wytrzymywanego zalecanego w normie [1].

3.23**. Znamionowy poziom izolacji**. Zbiór znamionowych napięć wytrzymywanych które charakteryzują wytrzymałość elektryczną izolacji.

3.24. **Koordynacja izolacji.** Wybór znamionowego lub znormalizowanego poziomu izolacji elektrycznej urządzeń w zależności od napięć roboczych i przepięć, jakie mogą pojawić się w sieci, do której urządzenia te są przeznaczone, z uwzględnieniem warunków środowiskowych w eksploatacji i charakterystyk zastosowanych urządzeń ochronnych.

3.25. **Przepięcie.** Każde napięcie alternatywne:
- między przewodem fazowym a ziemią lub w poprzek izolacji wzdłużnej, mające wartość szczytową przekraczającą wartość szczytową najwyższego napięcia sieci, podzieloną przez √3,
- między przewodami fazowymi, mające wartość szczytową przekraczającą amplitudę najwyższego napięcia sieci,
- wartości przepięć są zwykle wyrażane w jednostkach względnych (p.u.) odniesionych do napięcia $U_s \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$.

3.26. **Przepięcie dorywcze TOV.** Przepięcie częstotliwości sieciowej o stosunkowo długim czasie trwania.
Uwaga : Dla celów koordynacji izolacji zwykle przyjmuje się czas trwania przepięcia dorywczego 1 minutę.

3.27. **Przepięcie przejściowe**. Przepięcie o krótkim czasie trwania, nie dłuższym niż kilka milisekund, oscylacyjne lub nieoscylacyjne, zwykle silnie tłumione.

3.28. **Przepięcie o łagodnym czole SFO.** Przepięcie przejściowe, zwykle o jednej biegunowości, którego czas do szczytu wynosi $20\mu s < T_p \leq 5000\mu s$ a czas do półszczytu $T_2 < 20ms$.
Uwaga: Przepięcia SFO są odwzorowywane przez standardowy udar łączeniowy 250/2500μs.

3.29**. Przepięcie o stromym czole FFO.** Przepięcie przejściowe, zwykle o jednej biegunowości, którego czas do szczytu wynosi $0{,}1\mu s < T_p \leq 20\mu s$ a czas do półszczytu $T_2 \leq 300\mu s$.
Uwaga: Przepięcia FFO są odwzorowywane przez standardowy udar piorunowy 1,2/50μs

3.30. **Przepięcie o bardzo stromym czole VFFO.** Przepięcie przejściowe, zwykle o jednej biegunowości, którego czas do szczytu wynosi $T_f \leq 0{,}1\mu s$, bez oscylacji lub z nałożonymi oscylacjami o częstotliwości $30kHz < f < 100MHz$.

3.31. **Przepięcia reprezentatywne U_{rp}.** Przepięcia powodujące, z założenia, taki sam skutek – spowodowany oddziaływaniem pola elektrycznego na izolację - jak przepięcia danej kategorii występujące z różnych przyczyn w eksploatacji. Składają się one z napięć o kształcie znormalizowanym dla danej kategorii, mogą być zdefiniowane jedną wartością lub zbiorem wartości albo statystycznym rozkładem wartości charakteryzujących warunki eksploatacyjne.

3.32**. Koordynacyjne napięcie wytrzymywane U_{cw}**. Dla każdej kategorii napięcia, wartość napięcia wytrzymywanego przez układ izolacyjny w rzeczywistych warunkach eksploatacji, spełniająca kryterium poprawnego działania układu.

3.33**. Reprezentatywne przepięcie tymczasowe.** To przepięcie ma czas trwania około1 min i kształt napięcia częstotliwości sieciowej.

3.34**. Kryterium poprawnego działania.** Jest to podstawowe kryterium, które pozwala ograniczyć prawdopodobieństwo uszkodzenia izolacji urządzenia lub zakłócenia ciągłości zasilania wskutek oddziaływań pola elektrycznego w eksploatacji do poziomu uzasadnionego ekonomicznie i technicznie. Kryterium to jest zwykle wyrażane w formie akceptowalnego wskaźnika uszkodzeń układu izolacyjnego (liczba uszkodzeń w roku, liczba lat między uszkodzeniami, ryzyko uszkodzenia itp.).

Uwaga : Kategorie i kształty przepięć przedstawiono w Tablicy 1 [1].

CZĘŚĆ II – OCHRONA SIECI O NAPIĘCIU ZNAMIONOWYM 110 - 400KV

4. Uziemienie punktu neutralnego sieci

4.1. Sieci o napięciu znamionowym 110, 220 i 400kV [11,12,29] powinny pracować z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym w taki sposób, aby we wszystkich stanach ruchowych współczynnik zwarcia doziemnego *k* nie był większy niż:

1,4 w sieci o napięciu znamionowym 110 kV,
1,3 w sieciach o napięciu znamionowym 220 i 400kV.

4.2. Można przyjmować, że wymagania określone w p. 4.1 są spełnione gdy:

$$1 \le \frac{X_0}{X_1} \le 3 \text{ oraz } \frac{R_0}{X_1} \le 1 \qquad \text{w sieci 110kV} \qquad (1)$$

$$1 \le \frac{X_0}{X_1} \le 2 \text{ oraz } \frac{R_0}{X_1} \le 0{,}5 \qquad \text{w sieciach 220 i 400kV} \qquad (2)$$

przy czym:

X_0 , R_0 - reaktancja i rezystancja dla składowej symetrycznej zerowej obwodu zwarcia doziemnego z uwzględnieniem rezystancji w miejscu zwarcia z ziemią, jeżeli występuje,

X_1 - reaktancja dla składowej symetrycznej zgodnej obwodu zwarcia doziemnego.

Uwaga; Bardziej szczegółowe rozważania dotyczące wartości współczynnika zwarcia doziemnego k, w zależności od wartości reaktancji i rezystancji składowych symetrycznych są przedstawione w Załączniku A normy [2].

5. Dobór i instalowanie ograniczników przepięć

5.1. Ograniczniki przepięć powinny spełniać wymagania norm [3,4] i specyfikacji technicznych PSE S.A. [27].

5.2. Wytrzymałość zwarciowa ograniczników przepięć powinna być dobrana do największego spodziewanego prądu zwarciowego w miejscu ich zainstalowania [23]. Ograniczniki należy instalować możliwie jak najbliżej chronionego urządzenia, a połączenia z przewodami roboczymi sieci i przewodami uziemiającymi powinny być możliwie najkrótsze i prowadzone po odcinkach prostych [4,22]. Dotyczy to także połączeń z zaciskami neutralnymi transformatorów.

5.3 Na przewody łączące zaciski uziomowe ograniczników z licznikami zadziałań należy stosować linkę miedzianą, *o przekroju zalecanym przez producenta ograniczników*, jednak nie mniejszym niż 95mm^2, izolowaną na całej długości, od ogranicznika do licznika, której izolacja jest dobrana na znormalizowane wytrzymywane krótkotrwałe napięcie częstotliwości sieciowej nie mniejsze niż 3kV.

5.4 O ile dostawca ograniczników nie wskazał szczegółowych warunków ich zainstalowania to przyjmuje się, że pomiędzy dolnym zaciskiem licznika zadziałań a uziomem, powinien być połączony przewodem (bednarką) dobraną na prąd zwarcia 1s jaki występuje na stacji.

5.5 Każdy ogranicznik przepięć, dla każdej fazy, musi być wyposażony w indywidualny licznik zadziałań bez możliwości kasowania wskazań.

5.6. Osłony izolacyjne ograniczników przepięć należy dobrać do warunków zabrudzeniowych w miejscu ich zainstalowania zgodnie z normą [15] uwzględniając, że norma ta nie pozwala lokalizować na terenie IV strefy zabrudzeniowej stacji napowietrznych o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym. W uzgodnieniu z PSE S.A. dobór osłon izolacyjnych ograniczników do warunków zabrudzeniowych można także dokonać w oparciu o specyfikacje techniczne [14].

5.7. Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć dobranych do warunków sieciowych i chronionych urządzeń w sieciach o napięciu znamionowym 110 – 400 kV [3, 4, 5] przedstawiono w Tablicach 1 i 2. Piorunowy i łączeniowy poziomy ochrony, odpowiednio U_{pl} i U_{ps} w Tablicach 1 i 2 zostały obliczone na podstawie wartości szczytowej napięcia obniżonego ogranicznika U_{res} odniesionego do wartości napięcia znamionowego U_r i wybranego poziomu przepięć w oparciu o dane z Tablicy F.1 w Załączniku F normy [4].

Tablica 1
Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć przyłączanych do przewodów roboczych w sieciach o napięciu znamionowym 110 – 400kV

Napięcie znamionowe sieci U_n	kV	110	220	400
Najwyższe napięcie sieci U_s	kV	123	245	420
Napięcie trwałej pracy ogranicznika $U_c \geq$	kV	77	154	267
Napięcie znamionowe ogranicznika $U_r \geq$	kV	96	192	336
Graniczny udar prądowy 4/10μs	kA	100		
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20μs I_n w zależności od klasy ogranicznika	kA	SH ≥20 , SM ≥10,		
Udar prądowy łączeniowy -30/60μs	kA	SH ≥ 2, SM ≥1		
Piorunowy poziom ochrony $U_{pl} \leq$	kV	360	750	1300
Łączeniowy poziom ochrony $U_{ps} \leq$	kV	------	----------	950
Wytrzymałość na prąd zwarciowy w czasie 0,2s ≥	kA	31,5, 40, 50 lub 63		
Maksymalny poziom wyładowań niezupełnych przy 105% $U_c \leq$	pC	5		

Uwaga **:** Oznaczenia SH i SM przyjęto zgodnie z normą [3] i specyfikacją [28]. Dotyczą one ograniczników stacyjnych przeznaczonych odpowiednio do ciężkich i przeciętnych warunków eksploatacji.

Tablica 2
Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć przyłączanych do zacisków neutralnych transformatorów w sieciach o napięciu znamionowym 110 – 400kV

Napięcie znamionowe sieci U_n	kV	110	220	400
Najwyższe napięcie sieci U_s	kV	123	245	420
Napięcie trwałej pracy ogranicznika $U_c \geq$	kV	48	96	168
Napięcie znamionowe ogranicznika $U_r \geq$	kV	60	120	210
Graniczny udar prądowy 4/10 μs	kA	100		
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20 μs I_n w zależności do klasy ogranicznika	kA	SM ≥ 10, SH ≥ 20		
Piorunowy poziom ochrony $U_{pl} \leq$	kV	275	450	750
Znamionowa energia cieplna W_{th}	kJ/kV	SH:$W_{th} \geq$ 10, SM:$W_{th} \geq$ 7		
Łaczeniowy poziom ochrony $U_{ps} \leq$	kV	-	-	428

5.8. Ograniczniki należy wyposażyć w liczniki zadziałań i podstawy izolacyjne odpowiednie dla tych liczników. Funkcje realizowane przez liczniki zadziałań podano w specyfikacji [28]. Oczekiwane funkcje liczników związane z realizowanym przez PSE S.A. projektem technicznym są podane w SIWZ.
Odczyt wskazań liczydeł zadziałań oraz wartości prądu wskazywanych przez wskaźniki prądu upływu (zamontowanych na stałe w licznikach zadziałań) musi być możliwy z poziomu ziemi, bez wyłączenia napięcia. Natomiast odczyt wskazań z licznika monitorującego ogranicznik powinien odbywać się bezprzewodowo.

Uwaga: Wartości prądów odczytane ze wskaźnika prądu upływu nie określają zwykle w sposób jednoznaczny stanu technicznego ogranicznika.

5.9. Połączenia ograniczników przepięć z przewodami roboczymi sieci i z zaciskami neutralnymi transformatorów powinny być wykonane po najkrótszej drodze najlepiej przy pomocy odcinków prostoliniowych w celu uniknięcia powstania pętli [2,4]. Przekrój tych przewodów powinien być nie mniejszy niż przekrój pojedynczego przewodu oszynowania i nie mniejszy od zalecanego przez producenta ograniczników.

5.10 Połączenia zacisków uziomowych liczników zadziałań ograniczników z węzłami uziomu kratowego stacji należy wykonać najkrótszą drogą przy pomocy płaskowników stalowych ocynkowanych (lub pomiedziowanych) lub miedzi litej. Przekroje połączeń zacisków uziomowych liczników z węzłami uziomu kratowego powinny być dobrane tak aby mogły wytrzymać przepływ 1s prądu zwarcia stacji. O ile dostawca ograniczników nie sprecyzuje wymagań w tym zakresie to połączenia zacisków uziomowych ograniczników z uziomem kratowym stacji powinny zapewnić wytrzymałość cieplną na poziomie W_{th} dla określonego prądu zwarcia.

5.11. Zaciski uziomowe liczników zadziałań ograniczników, niezależnie od połączenia z uziemieniem stacji, należy dodatkowo połączyć, po najkrótszej drodze, z kadzią chronionego transformatora lub z powłoką metalową chronionego kabla przy pomocy przewodów spełniających wymagania podane w punkcie 5.3.

5.12. Odstępy pomiędzy ogranicznikami oraz odstępy pomiędzy ogranicznikami a innymi urządzeniami i uziemionymi konstrukcjami wsporczymi w stacjach wnętrzowych i napowietrznych powinny spełniać wymagania instrukcji fabrycznych. Jeżeli instrukcje fabryczne nie podają takich wymagań powinny być one ustalone na etapie projektu budowlanego w oparciu o normy [2,4].

5.13. Jako zasadę należy przyjąć, że zakłócenia zewnętrzne docierające do transformatora, od strony GN, powinny być ograniczane przed wejściem. O ile dostawca transformatora nie wskaże innych rozwiązań jest możliwe zastosowanie zgodnie z normą [26] m.in. niżej wymienionych rozwiązań :

a) ograniczników przepięć,

b) kontrolowanego łączenia (point on wave switching),

c) kondensatorów dołączonych do zacisków wyłączników, które zewrą składową wysokoczęstotliwościową do ziemi.

d) ograniczników wysokiego napięcia przy transformatorze o zredukowanym poziomie ochrony, zmniejszając tym samym napięcia przychodzące do transformatora (rozwiązanie rzadko stosowane).

5.14 Dostawca transformatora ma przedstawić stosowne obliczenia potwierdzające, że napięcia przenoszone nie zagrażają izolacji. Jeżeli pomiary lub obliczenia wykażą, że dla danej, istniejącej konstrukcji transformatora przepięcia przenoszone pojemnościowo ze strony GN i DN na uzwojenie trzecie TN o napięciu znamionowym 15,75kV lub niższym zagrażają izolacji tego uzwojenia, to dostawca transformatora powinien zaproponować rozwiązanie techniczne eliminujące to zagrożenie. Wartość amplitudy i stromość przepięć przenoszonych pojemnościowo na stronę trzeciego uzwojenia TN można zmniejszyć do wartości dopuszczalnej, stosując m.in. sposoby:

a) instalując pojemności pomiędzy każdą fazą a ziemią po stronie wtórnej. Zwykle zainstalowanie pojemności z zakresu 0,1 – 0,5μF ogranicza wysokoczęstotliwościowe składowe przepięć i amplitudę przepięć,

b) przyłączyć do zacisków liniowych uzwojenia trzeciego pojemności doziemne w postaci np. kabli jednofazowych łączących uzwojenie trzecie z transformatorem potrzeb własnych lub kondensatorów, podobną rolę może spełnić szeregowy bocznik RC włączony miedzy zaciski trzeciego uzwojenia i ziemię. Wartość rezystancji bocznika mieści się zwykle w zakresie 5 – 50Ω [26],

c) w przypadku przyłączenia krótkiego kabla do TPW z wyłącznikiem, żyła powrotna kabla powinna być dwustronnie uziemiona a po obu stronach kabla powinny być zainstalowane ograniczniki przepięć.

5.15. Jeżeli wyniki symulacji w nowo projektowanej stacji elektroenergetycznej wskazują na zagrożenie izolacji trzeciego uzwojenia TN transformatorów przepięciami przenoszonymi pojemnościowo ze strony GN na stronę DN, to nowe transformatory powinny być wyposażone w uziemione ekrany pomiędzy uzwojeniami chyba, że producent transformatorów zaproponuje inne rozwiązanie techniczne. W tym celu można:

a) zastosować ekran elektrostatyczny nawinięty na kolumnę rdzenia zwiększając w ten sposób pojemność doziemną trzeciego uzwojenia (które typowo jest najbliższe rdzenia),

b) wstawić ekran uziemiony lub podłączony do potencjału linii miedzy uzwojenie górne (lub dolne) a uzwojenie trzecie,

c) nawinąć uzwojenie trzecie na cylindrze z uziemionym ekranem zwiększając w ten sposób pojemność uzwojenia trzeciego i ograniczając oscylacje tego uzwojenia w stosunku do potencjału ziemi.

Uwaga: W niektórych stacjach elektroenergetycznych punkt neutralny nie jest uziemiony bezpośrednio *lecz przez rezystor lub dławik*. Należy mieć świadomość, że zapięcie dławika w punkcie neutralnym podtrzyma oscylacje w układzie i znacznie pogorszy przenoszenie przepięć do trzeciego uzwojenia, powodując często jego awarię.
W nowych, dobrze zaprojektowanych transformatorach przy dobrze dobranej wartości BIL ochrona od przepięć jest zwykle wystarczająca ponieważ zainstalowane ograniczniki przepięć zapewniają około 15 – 20 % marginesu w stosunku do BIL [26].

5.16. Dane techniczne ograniczników przepięć stosowanych do ochrony uzwojenia trzeciego transformatora powinny być zgodne z Tablicą 6, a poziom ochrony ograniczników powinien być dobrany do poziomu izolacji tego uzwojenia zgodnie z zasadami podanymi w części III.

5.17. Jeżeli poziom izolacji uzwojenia trzeciego TN o napięciu znamionowym 15,75 kV transformatorów i autotransformatorów sieciowych nowych lub modernizowanych [22,30,31] odpowiada napięciu U_m = 24kV (zamiast napięciu U_m = 17,5kV). to ochrona trzeciego uzwojenia TN od przepięć przenoszonych ze strony GN i DN nie jest zwykle wymagana o ile dostawca transformatora nie zdecydował inaczej. W przypadku konieczności ochrony izolacji trzeciego uzwojenia TN patrz p.5.14.

5.18.Jeżeli z analizy sieci nie wynikają potrzeby ochrony przeciwprzepięciowej a dostawca transformatora także nie narzuca swoich wymagań to uzwojenia trzecie o napięciu znamionowym 21 i 31,5kV nie wymagają ochrony od przepięć przenoszonych ze strony GN i DN.

5.19. W przypadku uzwojeń trzecich o napięciu znamionowym 10,5, 15,75 i 21kV połączonych w gwiazdę nie jest wymagana ochrona zacisku neutralnego od przepięć przenoszonych ze strony GN i DN o ile takie potrzeby nie wynikają z analizy sieci lub wymagań dostawcy transformatora.

5.20. Jeżeli w normalnym stanie pracy sieci transformator blokowy o napięciu U_m = 123, 245 lub 420kV jest przewidziany do pracy z nieuziemionym zaciskiem neutralnym, to izolacja tego zacisku musi być chroniona za pomocą ogranicznika przepięć. Dla ograniczników włączonych między izolowany punkt zerowy i ziemię napięcie znamionowe ogranicznika przyjmuje się jako równe napięciu $U_m/\sqrt{3}$

Uwaga: W przypadku transformatorów blokowych z uziemionym punktem zerowym stosuje się przekładniki prądowe na przewodzie uziemiającym, Wartość prądu przekładnika prądowego decyduje o zadziałaniu zabezpieczeń w momencie wystąpienia zwarcia na fazach transformatora.

5.21. Jeżeli w szczególnych układach ruchowych sieci warunki pracy transformatora mogą ulegać istotnej zmianie, np. może wystąpić układ, w którym transformator z nieuziemionym zaciskiem neutralnym będzie odłączony od sieci i zasilany od strony dolnego napięcia, a wartość współczynnika zwarcia doziemnego *k* dla takich warunków będzie większa niż podana w punkcie 4.1, dobór ograniczników przepięć należy rozpatrywać indywidualnie.

5.22. W przypadku odcinków kabli o długościach przekraczających kilkadziesiąt metrów, łączących elektroenergetyczne linie napowietrzne należy zainstalować ograniczniki przepięć po obu stronach linii kablowej. Ograniczniki zastosowane na rozpatrywanym fragmencie sieci powinny być takie same pod względem wymagań technicznych.

6. Znormalizowane poziomy izolacji w sieciach 110 - 400kV

Znormalizowane poziomy izolacji zalecane dla urządzeń instalowanych w sieciach o napięciu znamionowym 110 – 400kV, wybrane z uwzględnieniem zastosowanych ograniczników przepięć (Tablica 1) zgodnie z procedurą koordynacji izolacji (część V) ustaloną przez normy [1, 2, 16], są podane w Tablicy 3.

Tablica 3
Znormalizowane poziomy izolacji urządzeń
w sieciach o napięciu znamionowym 110 – 400kV

Napięcie znamionowe sieci U_n	kV	110	220	400
Najwyższe napięcie urządzenia U_m	kV	123	245	420
Znormalizowane wytrzymywane krótkotrwałe napięcie częstotliwości sieciowej U_{w50Hz}	kV	(185) 230	(395) 460	-
Znormalizowane wytrzymywane napięcie udarowe piorunowe U_{wl}	kV	(450) 550	(950) 1050	1425
Znormalizowane wytrzymywane napięcie udarowe łączeniowe U_{ws}	kV	-	-	1050

Uwaga: Jeżeli wartości podane w nawiasach są niewystarczające do wykazania, że międzyfazowe napięcia wytrzymywane mają odpowiedni poziom to jest konieczne przeprowadzenie dodatkowych prób wytrzymałości izolacji międzyfazowej.
Przyjmuje się, że w zakresie napięć 110 – 220kV dla urządzeń, wytrzymywane napięcie udarowe łączeniowe jest odwzorowywane przez wytrzymywane krótkotrwale napięcie częstotliwości sieciowej.

7. Ochrona linii elektroenergetycznych od przepięć

7.1. Elektroenergetyczne linie napowietrzne o napięciu znamionowym 110 - 400kV należy chronić przewodami odgromowymi na całej długości. Zasady ochrony linii przewodami odgromowymi podano w normach [11,12].

7.2. Przewody odgromowe należy uziemiać na każdym słupie linii.

7.3. Przy wejściu do stacji przewody odgromowe powinny być połączone z uziemionymi konstrukcjami wsporczymi (bramki liniowe).

7.4. Przekrój przewodów odgromowych powinien być dobrany do prądów zwarciowych występujących w chronionej linii i nie powinien być mniejszy niż 50mm^2 dla przewodów aluminium –stal lub ze stopów aluminiowych.[12]

7.5. Przewody odgromowe skojarzone z włóknami światłowodowymi powinny spełniać aktualne wymagania techniczne PSE S.A. [30].

76. Odstępy pomiędzy przewodami fazowymi a odgromowymi powinny spełniać wymagania normy [12].

7.7. Ochronę linii kablowych 110 - 400kV połączonych z liniami napowietrznymi i wprowadzonych do stacji elektroenergetycznej napowietrznej albo wnętrzowej należy wykonać według następujących zasad:

- głowice kablowe powinny być chronione ogranicznikami przepięć zainstalowanymi na obu końcach linii kablowej, niezależnie od długości kabla,
- osłonę kabla z jednostronnie uziemionym pancerzem należy z drugiej strony chronić ogranicznikami przepięć,
- w przypadku przeplotów na trasie linii kablowej parametry ograniczników montowanych w skrzynkach dobiera się do wytrzymałości osłony kabla,
- zaciski uziomowe liczników zadziałań ograniczników przepięć powinny być połączone, po najkrótszej drodze z uziomem stacji.

8. Ochrona stacji od bezpośrednich uderzeń piorunów. Ochrona wież wiatrowych.

8.1. Stacje i rozdzielnie napowietrzne o górnym napięciu znamionowym 110 - 400kV należy chronić od bezpośrednich uderzeń piorunów za pomocą zwodów pionowych. Strefy ochronne zwodów pionowych należy wyznaczać zgodnie z zasadami podanymi w normie [6, 7].

8.2. Zwody pionowe zaleca się instalować na konstrukcjach wsporczych rozdzielni napowietrznych z wyjątkiem bramek transformatorowych i konstrukcji, na których umieszczone są izolatory o napięciu znamionowym niższym niż 110kV.
8.3. Zwody pionowe nie zainstalowane na konstrukcjach wsporczych rozdzielni napo- wietrznych powinny być ustawione w odległości nie mniejszej niż 3 m od tych konstrukcji i od chronionych urządzeń. Zwody te należy połączyć z uziemieniem stacji.

8.4. Budynki rozdzielni wnętrzowych i nastawni zaleca się chronić zwodami poziomymi niskimi, jeżeli budynki te nie znajdują się w strefie ochronnej innych zwodów lub obiektów [8, 9, 10].

8.5. Ochronę rozdzielni i budynków stacyjnych od bezpośrednich uderzeń piorunów należy wykonać według wymagań szczegółowych, podanych w normach [9, 10], uwzględniając wymagania podane w punktach 8.1 – 8.4.

8.6. Obecnie instalowane siłownie wiatrowe maja wysokości wież wiatrowych rzędu 150m co przy wysięgu łopat wirnika daje wysokość około 200m. W celu ochrony siłowni wiatrowych wzdłuż łopat instalowane są przewody uziomowe natomiast ich połączenie z przewodami uziomowymi wieży jest indywidualnym rozwiązaniem technicznym producenta siłowni, który gwarantuje jej bezpieczna eksploatację.

9. Ochrona stacji od przepięć przenoszonych przewodami roboczymi sieci

9.1. Wymagania ogólne

9.1.1. Urządzenia stacji z izolacją powietrzną należy chronić za pomocą ograniczników przepięć [3,4,25]:

- zainstalowanych przy wszystkich uzwojeniach każdego transformatora,
- rozmieszczonych w taki sposób, aby we wszystkich układach ruchowych izolacja urządzeń stacyjnych była chroniona co najmniej przez jeden komplet ograniczników.

9.1.2. Ograniczniki przepięć powinny być zainstalowane pomiędzy chronionym uzwojeniem transformatora a najbliższym łącznikiem w obwodzie tego uzwojenia.

9.1.3. Zaciski neutralne uzwojeń transformatorów należy chronić ogranicznikami przepięć, jeżeli we wszystkich układach ruchowych nie są trwale, bezpośrednio połączone z uziemieniem stacji. Ograniczniki przepięć należy zainstalować tak blisko zacisków neutralnych, jak to jest możliwe.

9.1.4. W przypadku stacji z izolacją SF_6 ograniczniki należy zainstalować na wejściu linii napowietrznej do stacji. W przypadku rozległych instalacji GIS (na przykład o fazach rozdzielonych w wykonaniu napowietrznym) może zaistnieć konieczność wyposażania takich instalacji w wewnętrzne ograniczniki przepięć.

9.2. Transformatory o górnym napięciu znamionowym 110 - 400kV

9.2.1. Do ochrony uzwojeń transformatorów o napięciu znamionowym 110 – 400kV należy stosować ograniczniki przepięć zainstalowane tak blisko zacisków chronionych uzwojeń, jak to jest możliwe. Jako zasadę przyjmuje się, że odległość od zacisków uzwojeń obiektu chronionego, mierzona wzdłuż przewodów łączących nie może być większa niż 10m, zwykle jest to 3 do 5m. (Tylko w wyjątkowych przypadkach może to być kilkadziesiąt metrów). W takich warunkach połączenie podstawy ogranicznika z zaciskiem uziemiającym jest często trudne do wykonania.

Należy wtedy połączyć ogranicznik do uziomu stacji a z drugiej strony do sieci Jeżeli odległość od obiektu chronionego jest większa niż 10m należy rozważyć podniesienie ochrony obiektu od przepięć o jeden poziom [4, 22, 31].

Uwaga: W części V-tej specyfikacji przedstawiono, w oparciu o uproszczone wzory, sposób obliczenia odległości L, która pozwala na efektywną ochronę od przepięć o stromym czole FFO (pkt.3.29) obiektu chronionego przez ogranicznik zainstalowany w odległości L od tego obiektu.

9.3. Rozdzielnie o napięciu znamionowym 30kV i niższym w stacjach o górnym napięciu 110 – 400kV

9.3.1. Na wejściu każdej linii napowietrznej średniego napięcia wprowadzonej bezpośrednio do rozdzielni należy zainstalować ograniczniki przepięć [34].

9.3.2. Ograniczniki przepięć mogą być zainstalowane na pierwszym słupie linii napowietrznej lub na konstrukcji rozdzielni. Zaciski uziomowe tych ograniczników należy połączyć z uziemieniem stacji.

9.4. Rozdzielnie o napięciu znamionowym 110 – 400kV

9.4.1. Rozdzielnie o napięciu znamionowym 110 – 400kV, niezależnie od ograniczników przy transformatorach (punkt 9.2.1), należy chronić za pomocą dodatkowych ograniczników przepięć zainstalowanych na wejściu każdej linii napowietrznej wprowadzonej bezpośrednio do rozdzielni.

9.4.2. Dodatkowe ograniczniki przepięć, o których mowa w punkcie 9.4.1, powinny być zainstalowane w polach liniowych po stronie liniowej łączników. Zaciski uziomowe liczników zadziałań tych ograniczników należy połączyć z uziemieniem stacji.

9.4.3 Ocenę skuteczności ochrony rozdzielni od przepięć związanych z uderzeniem pioruna w linię napowietrzną należy dokonać zgodnie z normą [2] (załącznik E).

Uwaga: W załączniku E, w normie [2] zatytułowanym „Przepięcia piorunowe", analizuje się wpływ amplitudy i kształtu przepięć przychodzących do stacji elektroenergetycznej od strony linii napowietrznej dochodzącej do stacji, w której wystąpiło wyładowanie piorunowe, w pewnej odległości od stacji. Podano tam także uproszczone zależności pozwalające na wyznaczenie poziomu reprezentatywnego przepięcia U_{rp} do czego odniesiono się w części V-tej specyfikacji.

9.5. Farmy wiatrowe

9.5.1. W przypadku farm wiatrowych w zależności od ich mocy, sposobu przyłączenia do sieci (na przykład długimi liniami kablowymi), urządzeń zamontowanych po stronie WN i SN (na przykład dławiki) mogą wystąpić przepięcia nawet rzędu 3j.w.

Z tego względu każdy przypadek farmy wiatrowej o mocy, co najmniej kilkudziesięciu MW, powinien być przeanalizowany pod katem możliwości powstawania i propagacji przepięć stosując odpowiednie programy obliczeniowe.

***Uwaga*:** W celu przeprowadzenia obliczeń jak w pkt.9.5.1. między innymi można wykorzystywać komercyjnie dostępne programy takie jak PSS-E-Siemens, Power – FactoryDigSilent czy PSCAD Manitoba HVDC Research Centre, które mają moduły przewidziane do takich obliczeń.

10. Uziemienia urządzeń ochrony od przepięć

10.1. Wymagania ogólne

10.1.1. Niezależnie od wymagań podanych w niniejszych Zasadach, uziemienia urządzeń ochrony od przepięć w liniach i w stacjach elektroenergetycznych powinny spełniać wymagania podane w normach dotyczących ochrony od porażeń [9] i ochrony odgromowej obiektów budowlanych [9, 10] oraz projektowania i budowy elektro-energetycznych linii napowietrznych [11, 12] i kablowych [13].

10.1.2. Pomiary rezystancji uziemienia uziomu należy wykonywać stosując trójelektrodową metodę techniczną z wykorzystaniem źródła prądu o zakresie częstotliwości 50 – 250Hz. Wymagane wartości rezystancji uziemienia powinny być zapewnione przy prądzie przemiennym o częstotliwości 50 Hz.

10.1.3. Wymagane wartości rezystancji uziemienia powinny być zachowane przy wszystkich, możliwych do przewidzenia, sezonowych zmianach rezystywności gruntu. Zakresy zmian rezystywności gruntu w Polsce podano w Tablicy 12 [32].

10.1.4. Wymagane wartości rezystancji uziemienia słupów linii z przewodami odgromowymi powinny być zapewnione oddzielnie dla każdego słupa, to znaczy w takich warunkach, że uziom danego słupa nie jest połączony z uziomami sąsiednich słupów i stacji elektroenergetycznych.

10.2. Budowa uziomów stacji elektroenergetycznych

10.2.1. Wszystkie obliczenia i analizy niezbędne do realizacji projektu uziemienia stacji elektroenergetycznych należy wykonywać indywidualnie na podstawie założeń technicznych określonych przez PSE S.A.[6, 32].

10.2.2. Jako uziomy należy wykorzystywać przede wszystkim uziomy naturalne, takie jak uziomy słupów linii napowietrznych na terenie stacji, metalowe pancerze i powłoki kabli ułożonych w ziemi i uziomy fundamentowe obiektów budowlanych znajdujących się na terenie stacji.

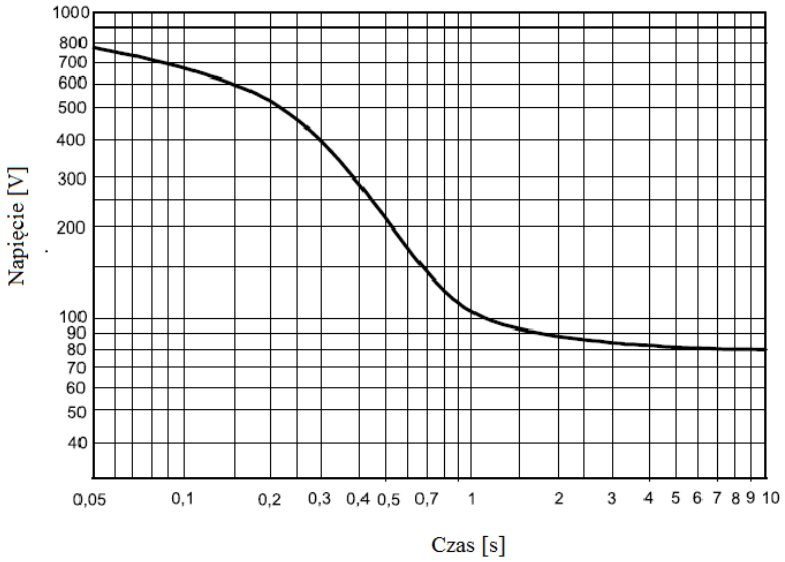
10.2.3. Podstawowym uziomem stacji jest uziom sztuczny w postaci ułożonej pod powierzchnią gruntu metalowej siatki (kraty) uziemiającej, która ma dominujący wpływ na parametry i właściwości uziemienia stacji [32]. Oczka kraty w pobliżu

miejsc wpływu do uziomu stacji prądów roboczych oraz prądów zwarciowych powinny być zagęszczone w celu zmniejszenia zagrożenia porażeniowego osób przebywających na terenie stacji.

10.2.4. Wymagania dla normalnych i zwarciowych warunków pracy stacji elektroenergetycznej, to znaczy znormalizowane wartości prądów znamionowych oraz standardowych prądów zwarciowych jakie mogą występować w sieciach PSE SA podano w specyfikacjach [32, 35].

10.2.5 W normach nie podaje się ograniczeń na wartości rezystancji uziemienia i dlatego należy przyjąć jako zasadę, że spadek napięcia na rezystancji uziemienia (lub impedancji uziemienia) podczas przepływu największego spodziewanego prądu uziomowego nie może przekroczyć 80% wymaganej wytrzymałości izolacji urządzeń i aparatury dla stacji o określonym napięciu znamionowym.

10.2.6. Skuteczność uziemienia stacji, jako środka ochrony przeciwporażeniowej określa się wartościami napięć dotykowych, jakie mogą wystąpić na przewodzących elementach urządzeń i konstrukcji stacji w czasie przepływu prądu przez uziom. (Rys.1)



Rys.1.Dopuszczalne rzeczywiste napięcie dotykowe na obszarze stacji elektroenergetycznej w zależności od czasu rażenia (czasu trwania zwarcia).

10.3 Budowa uziomów linii elektroenergetycznych

10.3.1. Każdy słup linii powinien być wyposażony w układ uziemiający. W skład układu uziemiającego wchodzą: uziomy poziome (lub poziome i pionowe), przewody uziemiające i zaciski kontrolne. Wszystkie elementy układu powinny być połączone w gruncie [33].

10.3.2. Układy uziemiające powinny być połączone z konstrukcją słupa linii za pomocą przewodów uziemiających. W przypadku stalowych słupów kratowych przewody uziemiające należy przyłączyć do każdej nogi słupa, natomiast w przypadku stalowych słupów pełnościennych przewody uziemiające należy przyłączyć w co najmniej dwóch miejscach na obwodzie słupa.

10.3.3. Połączenia przewodów uziemiających z konstrukcją słupa powinny być rozłączalne i tworzyć zaciski kontrolne w celu umożliwienia pomiarów rezystancji uziemienia słupa.

10.3.4. Układ uziemiający powinien być dobrany do warunków zwarciowych występujących w linii elektroenergetycznej, i lokalnych warunków gruntowych [11, 33].

10.4. Rezystancja uziemienia

10.4.1. Rezystancja uziemienia każdego ze słupów linii z przewodami odgromowymi nie powinna przekraczać wartości podanych w Tablicy 4. Szczegółowe wymagania w tym zakresie podano w normie [12] i specyfikacji [33].

Tablica 4
Dopuszczalne wartości rezystancji uziemienia słupów linii z przewodami odgromowymi [12]

Napięcie znamionowe sieci U_n	Rezystancja uziemienia słupów przy rezystywności gruntu	
	$\rho < 1000$ Ωm	$\rho \geq 1000$ Ωm
110kV	10 Ω	15 Ω
220kV i 400kV	15 Ω	20 Ω

10.4.2 Rezystancja uziemienia słupów, na których zainstalowano ograniczniki przepięć, niezależnie od rezystywności gruntu, nie powinna być większa niż 10Ω.

10.4.3 Nie dopuszcza się stosowania chemicznych środków zmniejszających rezystywność gruntu.

10.5. Przewody uziemiające

10.5.1 Wymiary przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających należy określić obliczeniowo dla stacji elektroenergetycznej biorąc pod uwagę większą wartość prądu zwarcia od prądu uziomowego oraz uwzględniając poziom akceptowanych uziomowych spadków napięcia i poziom dopuszczalnych napięć dotykowych (Rys.1) .

10.5.2. Wartości minimalnych przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających, stosowanych w stacjach PSE S.A., wykonanych z miedzi litej wynoszą 130mm^2 a w przypadku stali ocynkowanej 320mm^2.
10.5.3. Przekrój przewodów uziemiających przewody odgromowe i ograniczniki przepięć zainstalowane na słupach powinien być dobrany do prądów zwarciowych występujących w miejscu ich zainstalowania, w oparciu o wyniki analizy rozpływu prądów zwarciowych. W przypadku stosowania przewodów uziemiających z miedzi litej ich przekrój poprzeczny nie może być mniejszy niż 130mm^2. Zaciski uziomowe liczników zadziałań ograniczników powinny być połączone z uziomem po najkrótszej drodze.
10.5.4. Jako przewody uziemiające zaleca się wykorzystywać przewodzące elementy słupów i konstrukcji wsporczych. W liniach na słupach stalowych rolę przewodów uziemiających spełnia stalowa konstrukcja słupa.

10.5.5. Przewody uziemiające nowobudowanych linii elektroenergetycznych powinny być wykonane z miedzi lub stali pomiedziowanej. Przekrój poprzeczny uziemiającego przewodu miedzianego powinien wynosić co najmniej 50mm^2 a w przypadku stali pomiedziowanej co najmniej 90mm^2.

10.5.6. Nie dopuszcza się stosowania w układach uziemiających materiałów wykonanych z aluminium, stopów aluminium oraz bezpośrednich połączeń z materiałów charakteryzujących się różnymi potencjałami elektrochemicznymi.

CZĘŚĆ III – OCHRONA SIECI O NAPIĘCIU ZNAMIONOWYM 6 – 30KV

11. Wybór sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci

11.1. Wymagania ogólne

11.1.1. Sposób uziemienia punktu neutralnego powinien być optymalny pod względem techniczno-ekonomicznym z uwzględnieniem wymagań w zakresie eksploatacji sieci i niezawodności zasilania odbiorców.

11.1.2. Przy wybranym sposobie uziemienia punktu neutralnego sieci powinno być zapewnione prawidłowe działanie zabezpieczeń od zwarć z ziemią i urządzeń automatyki łączeniowej.

11.2. Izolowanie punktu neutralnego sieci

11.2.1. W sieci kablowej i kablowo-napowietrznej (o znacznej przewadze linii kablowych) punkt neutralny sieci może być izolowany, jeżeli pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego nie przekracza 50A. [34]

11.2.2. W sieci napowietrznej lub napowietrzno-kablowej punkt neutralny sieci może być izolowany, jeżeli pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego nie przekracza wartości podanych w Tablicy 5

Tablica 5
Graniczne wartości pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego w sieci napowietrznej lub napowietrzno-kablowej [34]

Napięcie znamionowe sieci U_n	kV	6	10	15-20	30
Pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego I_c	A	30	20	15	10

11.2.3. W sieciach, w których zabezpieczenia zapewniają szybkie wyłączanie zwarć z ziemią, dopuszcza się stosowanie układu z izolowanym punktem neutralnym, niezależnie od wartości pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego.

Uwaga **:** Szybkie wyłączanie zwarć zależy od czasu działania zabezpieczenia podstawowego i czasu własnego wyłącznika. W sieciach elektroenergetycznych 220 – 400 kV ten sumaryczny czas nie przekracza 120 ms, a w sieciach 110kV jest to 150 ms, natomiast w sieciach SN czas te nie jest dokładnie określony i jest odnoszony do czasu w sieciach WN.

11.2.4. W sieciach, w których pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego jest większy niż ustalony w punktach 11.2.1 i 11.2.2 oraz nie jest spełniony warunek podany w punkcie 11.2.3, należy stosować jeden z następujących układów:

- kompensację pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego,
- uziemienie punktu neutralnego sieci przez rezystancję.

Kompensację zaleca się stosować w sieciach napowietrznych i napowietrzno-kablowych, natomiast uziemienie punktu neutralnego sieci przez rezystancję jest zalecane w rozległych sieciach kablowych i w sieciach kablowo-napowietrznych z przewagą linii kablowych.

Uwaga: W stacjach w których punkt neutralny nie jest uziemiony bezpośrednio ale przez dławik to może wystąpić znaczne pogorszenie w zakresie przenoszenia przepięć ze strony GN transformatora do trzeciego uzwojenia z uwagi na podtrzymanie oscylacji w układzie. Niekiedy taki sposób uziemienia punktu neutralnego jest bezpośrednią przyczyną awarii trzeciego uzwojenia.

11.3. Kompensacja pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego

11.3.1.Urządzenia do kompensacji powinny być tak rozmieszczone w sieci, aby zapewniały kompensację pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego we wszystkich normalnych układach ruchowych sieci. Zaleca się umieszczanie urządzeń do kompensacji w stacjach zasilających sieć i utrzymywanie takich układów (obszarów) sieciowych, aby pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego nie przekraczał 300A.

11.3.2. Rozstrojenie kompensacji sieci (*S*) należy obliczać ze wzoru:

$$S = \frac{I_L - I_C}{I_C} \times 100\ [\%] \qquad (3)$$

w którym:
I_L - suma prądów indukcyjnych urządzeń do kompensacji przyłączonych do sieci,
I_C - pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego sieci.

11.3.3. Rozstrojenie kompensacji sieci powinno być utrzymane w granicach od S = - 5% do S = + 15% z wyjątkiem krótkotrwałych stanów zakłóceń w sieci. W sieciach o dużej asymetrii pojemnościowej zaleca się utrzymywać rozstrojenie w granicach od S = + 5% do S = + 15%. Zaleca się stosować urządzenia do kompensacji z płynną regulacją prądu indukcyjnego, wyposażone w automatykę samoczynnej regulacji rozstrojenia.

11.4. Uziemienie punktu neutralnego sieci przez rezystancję

11.4.1. Rezystancja powinna być włączona między zacisk neutralny transformatora uziemiającego lub transformatora mocy a uziemienie stacji.

11.4.2. Wartość rezystancji powinna być dobrana tak, aby prąd zwarcia jednofazowego w rozdzielni zasilającej był ograniczony do wartości, przy której jednocześnie:

- jest zapewnione prawidłowe działanie zabezpieczeń od zwarć z ziemią i urządzeń automatyki łączeniowej,
- nie występuje niebezpieczeństwo porażenia ludzi wskutek pojawienia się napięć dotykowych lub są zastosowane środki ograniczające te napięcia do wartości dopuszczalnych,
- nie powstają zakłócające i niebezpieczne oddziaływania na obwody telekomunikacyjne.

12. Dobór i instalowanie ograniczników przepięć

12.1. Ograniczniki przepięć powinny spełniać wymagania normy [3]. Odległość zainstalowania ograniczników przepięć od obiektu chronionego nie powinna być większa niż parę metrów. W sieciach SN jest to zwykle 3 – 5m. [2].

12.2. Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć dobranych do warunków sieciowych i chronionych urządzeń [28] w sieciach o napięciu znamionowym 6 – 30 kV przedstawiono w Tablica 6.

12.3. Wytrzymałość zwarciowa ograniczników przepięć oraz przekroje przewodów stosowanych do podłączenia ograniczników w sieci powinny być dobrane do największego spodziewanego prądu zwarciowego w miejscu ich zainstalowania [23,25].

Tablica 6
Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć przyłączanych do przewodów roboczych w sieciach o napięciu znamionowym 6 – 30kV

Napięcie znamionowe sieci U_n	kV	6	10	15	20	30
Najwyższe napięcie sieci U_s	kV	7,2	12	17,5	24	36
Napięcie trwałej pracy ogranicznika $U_c \geq$	kV	7,2	12	17,5	24	36
Napięcie znamionowe ogranicznika $U_r \geq$	kV	9	15	22	30	45
Graniczny udar prądowy 4/10	kA	65		100		
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20μs I_n	kA	5		10		
Piorunowy poziom ochrony $U_{pl} \leq$	kV_m	46	60	75	125	145
Wytrzymałość zwarciowa ≥	kA	16				

12.4. Osłony izolacyjne ograniczników przepięć należy dobrać do warunków zabrudzeniowych w miejscu ich zainstalowania zgodnie z normą [14] uwzględniając, że norma ta nie zezwala na lokalizowanie na terenie IV strefy zabrudzeniowej stacji napowietrznych o napięciu znamionowym 6 - 30kV. Dobór osłon ograniczników można również dokonać w oparciu o specyfikacje techniczne [14], po uzgodnieniu z PSE.S.A.

12.5. Połączenia ograniczników z przewodami roboczymi sieci i z zaciskami neutralnymi transformatorów należy wykonać przewodami o przekroju nie mniejszym niż 16 mm^2. Połączenia te powinny być wykonane najkrótszą drogą.

12.6. Napięcie trwałej pracy U_c ograniczników przepięć przyłączanych do zacisków neutralnych transformatorów w sieciach o napięciu znamionowym 6 – 30kV nie powinno być niższe niż $U_s/\sqrt{3}$ a piorunowy poziom ochrony należy dobrać do poziomu izolacji zacisku neutralnego zgodnie z zasadami podanymi w części V. Zaleca się stosować ograniczniki o znamionowym prądzie wyładowczym 5kA do zakresu napięć 6 i 10kV oraz 10kA do zakresu napięć 15, 20 i 30kV, zgodnie z danymi w Tablicy 1 [3]. Ograniczniki przepięć należy instalować tak blisko zacisku neutralnego, jak to jest możliwe.

12.7. Odstępy pomiędzy ogranicznikami oraz odstępy pomiędzy ogranicznikami, a innymi urządzeniami i uziemionymi konstrukcjami wsporczymi w stacjach wnętrzowych i napowietrznych powinny spełniać wymagania instrukcji fabrycznych. Jeżeli instrukcje fabryczne nie podają takich wymagań powinny być one ustalone na etapie projektu wykonawczego.

13. Znormalizowane poziomy izolacji w sieciach 6 – 30 kV

Znormalizowane poziomy izolacji zalecane dla urządzeń instalowanych w sieciach o napięciu znamionowym 6 – 30 kV, wybrane z uwzględnieniem zastosowanych ograniczników przepięć (Tablica 6) zgodnie z procedurą koordynacji izolacji (część V) ustaloną przez normy [1, 2] przedstawiono w Tablicy 7.

Tablica 7
Znormalizowane poziomy izolacji urządzeń
w sieciach o napięciu znamionowym 6 – 30 kV

Napięcie znamionowe sieci U_n	kV	6	10	15	20	30
Najwyższe napięcie urządzenia U_m	kV	7,2	12	17,5	24	36
Znormalizowane wytrzymywane krótkotrwałe napięcie częstotliwości sieciowej U_{w50Hz}	kV	20	28	38	50	70
Znormalizowane wytrzymywane napięcie udarowe piorunowe U_{wl}	kV	60	75	95	125	170

14. Ochrona linii elektroenergetycznych od przepięć

14.1. Elektroenergetycznych linii napowietrznych o napięciu znamionowym 30kV i niższym nie zaleca się chronić na całej długości za pomocą przewodów odgromowych.

14.2. Linię kablową łączącą się z linią napowietrzną z przewodami gołymi lub z prze-wodami w osłonie izolacyjnej należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi przy głowicach kablowych.

14.3. Linię napowietrzną z przewodami pełno izolowanymi [12] należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi w miejscu połączenia z linią wykonaną przewodami gołymi lub przewodami niepełno izolowanymi. W miejscu połączenia linii z przewodami gołymi z linią wykonaną przewodami niepełno izolowanymi zaleca się stosować ograniczniki przepięć.

14.4 Przewody niepełno izolowane należy chronić przed skutkami łuku zgodnie z [12].

14.5. Miejsce połączenia linii mającej słupy lub poprzeczniki z materiałów nie przewodzących z linią na słupach przewodzących (stalowych lub żelbetowych), zaleca się chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi na pierwszym słupie przewodzą-cym.

14.6.Punkty pomiaru energii elektrycznej i łączniki sterowane drogą radiową, zainstalowane na słupach linii napowietrznych, zaleca się chronić ogranicznikami przepięć rozmieszczonymi w taki sposób aby we wszystkich układach ruchowych izolacja urządzeń była chroniona. Ograniczniki należy instalować tak blisko chronionych urządzeń, jak to jest możliwe.

15. Ochrona stacji od bezpośrednich uderzeń piorunów

15.1. Stacje i rozdzielnie napowietrzne o górnym napięciu znamionowym 30kV i niższym, w których są zainstalowane transformatory o mocy znamionowej większej niż 1600kVA, należy chronić od bezpośrednich uderzeń piorunów według zasad podanych w rozdziale 8. W pozostałych stacjach i rozdzielniach napowietrznych o górnym napięciu znamionowym 30kV i niższym ochrona od bezpośrednich uderzeń piorunów nie jest wymagana.

15.2. Zaleca się stosować ochronę od bezpośrednich uderzeń piorunów rozdzielni wielopolowych.

16. Ochrona stacji od przepięć przenoszonych przewodami roboczymi sieci

16.1. Wymagania ogólne

16.1.1. Urządzenia stacji należy chronić za pomocą ograniczników przepięć:

- zainstalowanych przy wszystkich uzwojeniach każdego transformatora,
- rozmieszczonych w taki sposób, aby we wszystkich układach ruchowych izolacja urządzeń stacyjnych była chroniona co najmniej przez jeden komplet ograniczników.

16.1.2. Ograniczniki przepięć powinny być zainstalowane pomiędzy chronionym uzwojeniem transformatora a najbliższym łącznikiem w obwodzie tego uzwojenia. Dopuszcza się instalowanie bezpieczników między ogranicznikami przepięć a transformatorem [34].

16.1.3 Zaciski neutralne, do których są przyłączone urządzenia do kompensacji lub rezystory uziemiające, należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi tak blisko chronionych zacisków, jak to jest możliwe.

16.1.4. Transformatory uziemiające należy chronić ogranicznikami przepięć.

16.1.5. Uzwojenia o napięciu znamionowym 30kV i niższym transformatorów o górnym napięciu znamionowym 110 - 400kV należy chronić za pomocą ograniczników przepięć, których odległości od zacisków chronionych uzwojeń, mierzone wzdłuż przewodów łączących nie mogą być większe niż : 3 -5m dla uzwojeń o napięciach znamionowych 6 -10kV i 10m dla uzwojeń o napięciach znamionowych 15-30kV.

16.1.6.Na wejściu każdej linii napowietrznej średniego napięcia wprowadzonej bezpośrednio do rozdzielni o napięciu znamionowym 30kV i niższym należy zainstalować ograniczniki przepięć

16.1.7 Ograniczniki przepięć mogą być zainstalowane na pierwszym słupie linii napowietrznej lub na konstrukcji rozdzielni. Zaciski uziomowe ograniczników zainstalowanych na konstrukcji rozdzielni należy połączyć z uziemieniem stacji. Dla ograniczników zainstalowanych na pierwszym słupie, usytuowanym poza terenem stacji, należy wykonać oddzielne uziemienie tak aby rezystancja uziemienia słupa nie była większa od 10 Ω niezależnie od rezystywności gruntu.

16.2. Stacje zasilające sieci niskiego napięcia

16.2.1. W stacjach zasilających sieci niskiego napięcia [8], uzwojenia transformatorów o napięciu znamionowym 30kV i niższym należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi zgodnie z wymaganiami podanymi w punkcie 16.1.5.

16.2.2. Ochrona uzwojeń o napięciu znamionowym 230/400V powinna być wykonana zgodnie z wymaganiami podanymi w części IV niniejszych Zasad.

16.3. Stacje zasilające sieci średniego napięcia

16.3.1. Transformatory zasilające sieci średniego napięcia (np. transformatory 30/15kV) należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi zgodnie z wymaganiami podanymi w punkcie 16.1.5
16.3.2. Na wejściu każdej linii napowietrznej wprowadzonej bezpośrednio do stacji należy zainstalować ograniczniki przepięć po stronie liniowej wyłączników. Zaciski uziomowe tych ograniczników należy połączyć z uziemieniem stacji.

17. Uziemienia urządzeń ochrony od przepięć

17.1. Wymagania ogólne

17.1.1. Niezależnie od podanych w niniejszych zasadach wymagań, uziemienia urządzeń ochrony od przepięć w liniach i w stacjach elektroenergetycznych powinny spełniać wymagania podane w normach dotyczących ochrony od porażeń [8] i ochrony odgromowej obiektów budowlanych [9,10] oraz projektowania i budowy elektro-energetycznych linii napowietrznych [11,12] i kablowych [13].

17.1.2. Wymagane wartości rezystancji uziemienia powinny być zapewnione przy prądzie przemiennym o częstotliwości 50Hz.

17.1.3. Wymagane wartości rezystancji uziemienia powinny być zachowane przy wszystkich, możliwych do przewidzenia, sezonowych zmianach rezystywności gruntu. Sposób uwzględnienia sezonowych zmian rezystywności gruntu do obliczania największych spodziewanych wartości rezystancji uziemienia jest podany w rozdziale 24.

17.2. Budowa uziomów

17.2.1. Jako uziomy należy wykorzystywać przede wszystkim uziomy naturalne, takie jak fundamenty słupów i konstrukcji stalowych oraz zakopane części słupów i konstrukcji żelbetowych, umieszczone w odległości do 50m od zacisku uziemiającego uziemianego urządzenia.

17.2.2. Dodatkowe uziomy sztuczne należy wykonywać tylko w takich przypadkach, gdy uziomy wymienione w punkcie 17.2.1. nie spełniają wymagań dotyczących rezystancji uziemienia. Uziomy sztuczne zaleca się umieszczać w odległości do 35m od zacisku uziemiającego uziemianego urządzenia.

17.3. Rezystancja uziemienia

17.3.1. Rezystancja uziemienia ograniczników przepięć nie powinna być większa niż 10 Ω.

17.3.2. W przypadku wyjątkowo dużej rezystywności gruntu, jeżeli uzyskanie wartości rezystancji uziemienia podanej w punkcie 17.3.1 pociąga za sobą wysokie koszty, dopuszcza się większe wartości rezystancji uziemienia – w uzgodnieniu z PSE.SA - pod warunkiem zastosowania rozwiązań zapewniających nie mniejszą skuteczność ochrony od przepięć niż skuteczność uzyskiwana przy spełnieniu wymagań zawartych w tym punkcie.

17.4. Przewody uziemiające

17.4.1. Przekrój przewodów uziemiających ograniczniki przepięć powinien być dobrany do prądów zwarciowych występujących w miejscu ich zainstalowania. Należy stosować przewody uziemiające o przekroju nie mniejszym niż 16mm^2 (miedź lita), 35 mm^2 (aluminium) i 50mm^2 (stal ocynkowana lub pomiedziowana).

17.4.2. Jako przewody uziemiające zaleca się wykorzystywać przewodzące elementy słupów i konstrukcji wsporczych. W liniach na słupach stalowych rolę przewodów uziemiających spełnia stalowa konstrukcja słupa. W liniach na słupach żelbetowych nie jest wymagane stosowanie oddzielnych przewodów uziemiających, jeżeli zbrojenie słupa jest przygotowane do tego celu i zapewnia ciągłość przejścia między zaciskiem przeznaczonym do przyłączenia urządzeń ochrony od przepięć a uziomem, co należy sprawdzić pomiarem elektrycznym przy niskim napięciu.

17.4.3. Na słupach wielo żerdziowych o żerdziach rozstawionych, przewody uziemiające powinny być prowadzone co najmniej wzdłuż dwóch przeciwległych nóg słupa. Na słupach z odciągami jako przewody uziemiające należy wykorzystać co najmniej dwa przeciwległe odciągi.

17.5. Połączenia ograniczników przepięć z uziomami i uziemionymi częściami chronionych urządzeń

17.5.1. Zaciski uziomowe ograniczników przepięć powinny być połączone z uziomem po najkrótszej drodze.

17.5.2. Niezależnie od połączenia z uziomem należy wykonać, po najkrótszej drodze, dodatkowe połączenie zacisków uziomowych ograniczników przepięć z kadzią chronionego transformatora lub z powłoką metalową chronionego kabla.

CZĘŚĆ IV – OCHRONA SIECI O NAPIĘCIU ZNAMIONOWYM 230/400V

18. Dobór i instalowanie ograniczników przepięć

18.1. Ograniczniki przepięć powinny spełniać wymagania zadeklarowane przez dostawcę, potwierdzone i udokumentowane protokołami badań typu.

18.2. Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć dobranych do warunków sieciowych i chronionych urządzeń w sieci o napięciu znamionowym 230/400V przedstawiono w Tablicy 8.

18.3. Znormalizowane wytrzymywane napięcie udarowe piorunowe izolacji w sieci niskiego napięcia nie powinno być niższe niż 6000V.

18.4. W sieci o układzie TN -C ograniczniki przepięć należy instalować między każdym przewodem fazowym a przewodem ochronno-neutralnym PEN.

Tablica 8
Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć instalowanych w sieci o układzie TN – C [34]

Napięcie trwałej pracy U_c ≥	V	440
Maksymalny prąd wyładowczy 8/20μs I_{max}≥	kA	25
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20μs I_n	kA	5
Piorunowy poziom ochrony U_{pl} ≤	V	2500

18.5 Przyjmuje się, że na każdym kablu zasilającym , wchodzącym do rozdzielnicy 0,4kV instaluje się ograniczniki przepięć.

18.6. Jeżeli uziemienie robocze sieci jest wykonane w stacji, ograniczniki przepięć powinny być również zainstalowane w stacji, poza zabezpieczeniami obwodów, po jednym komplecie na odejściu każdej linii. Natomiast w przypadku, kiedy uziemienie robocze sieci jest wykonane poza stacją jako uziemienie przewodu neutralnego na pierwszych słupach linii (uziemienia rozdzielone), ograniczniki przepięć powinny być zainstalowane na tych słupach.

18.7. W układach TN -C z rozdzielonymi uziemieniami ochronnym i roboczym w stacji SN/nn pomiędzy kadzią transformatora (uziemieniem ochronnym) a zaciskiem neutralnym uzwojeń niskiego napięcia (przewodem ochronno – neutralnym PEN), należy zainstalować iskiernik ochronny lub ogranicznik [34, 17,18,19].

Iskiernik ochronny powinien posiadać następujące parametry :
- napięcie przeskoku przy napięciu przemiennym 50Hz ≤ 1000V,
- napięcie przeskoku przy napięciu udarowym 1,2/50μs ≤ 2500V

Ogranicznik przepięć powinien mieć parametry techniczne nie gorsze niż podane w Tablicy 8.

18.8. Ograniczniki przepięć instalowane w liniach zaleca się lokalizować w miejscach uziemienia przewodu ochronno-neutralnego PEN. W innych przypadkach należy wykonać uziom, z którym należy łączyć przewód PEN, do którego będzie połączony ogranicznik.

18.9.. W liniach na słupach drewnianych z przewodem uziemiającym ograniczników należy łączyć haki, trzony i konstrukcje wsporcze wszystkich linii, w tym telekomunikacyjnych, prowadzonych na wspólnych słupach [5, 8,13].

18.10. Przewód uziemiający ograniczników przepięć instalowanych przy głowicach kablowych powinien być połączony z metalowymi elementami konstrukcji wsporczej głowicy.

18.11. Przewody łączące ograniczniki z przewodami roboczymi sieci oraz przewody uziemiające powinny być dobrane do prądów zwarciowych występujących w miejscu zainstalowania ograniczników przepięć. Przewody te powinny mieć przekrój nie mniejszy niż 16 mm^2 (miedź lita), 35mm^2 (aluminium) i 50mm^2 (stal ocynkowana lub pomiedziowana). Zaleca się stosowanie przewodów uziemiających wykonanych z linki miedzianej w izolacji odpornej na działanie promieniowania UV. Połączenia te należy wykonać najkrótszą drogą.

18.12 Zaleca się stosowanie ograniczników przepięć do ochrony urządzeń szaf sterowniczych oświetlenia ulicznego, aparatury alarmowej, sygnalizacyjnej, ostrzegawczej itp. Ograniczniki powinny być zainstalowane tak blisko urządzeń chronionych jak to jest możliwe

19. Ochrona linii

19.1. Linie napowietrzne z przewodami gołymi lub z przewodami pełno izolowanymi, w tym przyłącza, należy chronić ogranicznikami przepięć, które powinny być zainstalowane na końcu każdej linii i na końcu każdego odgałęzienia o długości większej niż 200m oraz w linii w odstępach nie większych niż 500m.

19.2. Linie kablowe i linie napowietrzne z przewodami pełno izolowanymi należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi w miejscach połączenia tych linii z liniami napowietrznymi z przewodami gołymi. Wymaganie to nie dotyczy przyłączy. Linie z przewodami w osłonach izolacyjnych należy traktować jak linie z przewodami gołymi.

20. Ochrona urządzeń stacyjnych

20.1. Urządzenia stacyjne niskiego napięcia w stacjach SN/nn połączone z liniami napowietrznymi nn bezpośrednio lub za pośrednictwem linii kablowych ułożonych w ziemi, krótszych niż 150m, należy chronić za pomocą ograniczników przepięć. Należy je rozmieścić w taki sposób, aby przy uzwojeniu niskiego napięcia każdego transformatora SN/nn był zainstalowany komplet ograniczników. We wszystkich układach ruchowych izolacja urządzeń stacyjnych niskiego napięcia powinna być chroniona przez co najmniej jeden komplet ograniczników.

20.2. Ograniczniki przepięć stosowane do ochrony uzwojeń niskiego napięcia transformatorów zaleca się instalować bezpośrednio na transformatorach, pomiędzy zaciskami fazowymi uzwojeń niskiego napięcia i kadzią transformatora. Połączenie ograniczników z zaciskami fazowymi uzwojeń niskiego napięcia i kadzią transformatora powinny być jak najkrótsze.

20.2. Przewody uziemiające ograniczników instalowanych w stacjach należy łączyć z uziemieniem stacji, metalowymi elementami konstrukcji i obudowami transformato-rów i urządzeń rozdzielczych, metalowymi powłokami kabli, instalacjami wodnymi, gazowymi i centralnego ogrzewania, urządzeniami ochrony od bezpośrednich uderzeń piorunów (jeżeli występują).

20.3. Zaleca się stosowanie ograniczników przepięć do ochrony urządzeń szaf sterowniczych oświetlenia ulicznego, aparatury alarmowej, sygnalizacyjnej, ostrzegawczej itp.

21. Uziemienia ograniczników przepięć

21.1. Rezystancja uziemienia ograniczników nie powinna być większa niż 10 Ω.

21.2. Połączenia zacisku uziemiającego ogranicznika przepięć z uziomem oraz z uziemionymi metalowymi elementami chronionego urządzenia powinny być jak najkrótsze.

CZĘŚĆ V – ZASADY KOORDYNACJI IZOLACJI

22. Ogólny zarys procedury koordynacji izolacji

Według [1, 2, 4] procedura koordynacji izolacji polega na wyborze najwyższego napięcia urządzenia wraz ze zbiorem znormalizowanych napięć wytrzymywanych, które wystarczająco charakteryzują izolację urządzenia. Stosuje się dwie metody koordynacji izolacji to znaczy deterministyczną i statystyczną (statystyczną zwłaszcza dla izolacji regenerującej się). Bardzo często te dwa podejścia są łączone w jednej procedurze kiedy stosuje się procedurę statystyczną uproszczoną.
Procedura jest realizowana w czterech etapach, a jej początkiem jest analiza sieci, która ma na celu określenie napięć i przepięć oddziałujących na izolacje. Na podstawie wyników analizy sieci podejmuje się następujące działania :

- określa się reprezentatywne napięcia i przepięcia U_{rp},
- określa się koordynacyjne napięcia wytrzymywane U_{cw},
- określa się wymagane napięcie wytrzymywane U_{rw},
- dokonuje się wyboru znamionowego poziomu izolacji w oparciu o zbiór znormalizowanych znamionowych napięć wytrzymywanych izolacji U_w .

W tej procedurze koordynacyjnej najważniejszym napięciem odniesienia jest wartość najwyższego napięcia sieci U_s.
Najwyższe napięcie urządzenia jest w tej procedurze wybierane jako najbliższe wartości znormalizowanej U_m, równej lub większej od najwyższego napięcia sieci, w której urządzenie będzie zainstalowane.

$$U_m \geq U_s \qquad (4)$$

22.1 Napięcia i przepięcia reprezentatywne U_{rp}

Uwaga; Napięcia i przepięcia reprezentatywne są często obliczane podczas projektowania stacji elektroenergetycznych według instrukcji producentów urządzeń ochrony od przepięć. W każdym przypadku należy weryfikować te obliczenia w oparciu o wymagania normy [2].

Przepięcie dorywcze TOV . Przyczyny powstawania przepięć dorywczych są podane w [2,4]. Należy zwrócić uwagę, że ograniczniki przepięć zasadniczo nie obniżają poziomu przepięć dorywczych co zwłaszcza jest istotne dla sieci elektroenergetycznych z zakresu II. W sieciach z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym poziom tych przepięć może osiągnąć wartości k z przedziału 1–1,3. Poziom reprezentatywny określa się jako:

$$U_{rp} = k \times U_s/\sqrt{3} \qquad (5)$$

Przepięcie o łagodnym czole (SFO). Przyczyny powstawania przepięć SFO podano w normach [2, 4]. Zakres wartości prądów, które płyną przez ograniczniki podczas oddziaływania tych przepięć jest rzędu od około 0,5 do 2kA. Poziom reprezentatywny przepięcia SFO dla przepięć faza – ziemia jest równy łączeniowemu poziomowi ochrony ogranicznika (zakres sieci I i II).

$$U_{rp} = U_{ps} \quad (6)$$

Dla międzyfazowych przepięć tego typu to jest zwykle dwukrotna wartość łączeniowego poziomu ochrony ogranicznika

$$U_{rp} = 2U_{ps} \quad (7)$$

lub wartość obliczona na podstawie Załącznika C w normie [2].

Przepięcia o stromym czole FFO. Przyczyny powstawania przepięć FFO podano w normie [2, 4]. Prądy które płyną prze ograniczniki poddane oddziaływaniu takich przepięć są rzędu:

dla sieci z zakresu I ($1kV < U_m \leq 245$ kV) : 5kA lub 10kA

dla sieci elektroenergetycznych z zakresu II ($U_m > 245kV$): 10kA lub 20kA

Poziom reprezentatywny przepięcia FFO może być w sposób uproszczony obliczony ze wzoru (8), (w normie [2] oznaczonym jako wzór 1):

$$U_{rp} = U_{pl} + 2S \times t_s \text{ dla } U_{pl} \geq 2St_s \quad (8)$$

gdzie : S jest stromością fali udarowej wyładowania atmosferycznego w (kV/μs) według wzoru (9), (w normie [2] oznaczonego jako wzór E.1):

$$S = 1/(n\, K_{co} \times X) \quad (9)$$

a wielkości we wzorze (9) oznaczają:

X – odległość między stacją elektroenergetyczna a miejscem uderzenia wyładowania piorunowego w (m)

n – liczbę linii napowietrznych dochodzących do stacji elektroenergetycznej

K_{co} – stała tłumienia wyładowania ulotowego zależna od konfiguracji przewodów w linii napowietrznej, według Tabeli E.1 [2], w (μs/kV m)

Wielkość t_s , we wzorze (8), oznacza czas, w (μs), po którym fala udarowa, przemieszczająca się z prędkością światła, na odległości L w (m), osiągnie obiekt chroniony i wyrażona jest wzorem (10), (oznaczonym w normie [2] jako wzór 3):

$$t_s = L/ 300 \text{ (m/μs)} \quad (10)$$

gdzie: L jest sumą odległości do obiektu chronionego w której uwzględniono odległość od uziemienia do ogranicznika (a_2), wysokość ogranicznika (a_4) , odległość od ogranicznika do obiektu chronionego (a_3) i długość przewodu łączącego linię napowietrzną z ogranicznikiem (a_1) zgodnie z Rys.2.

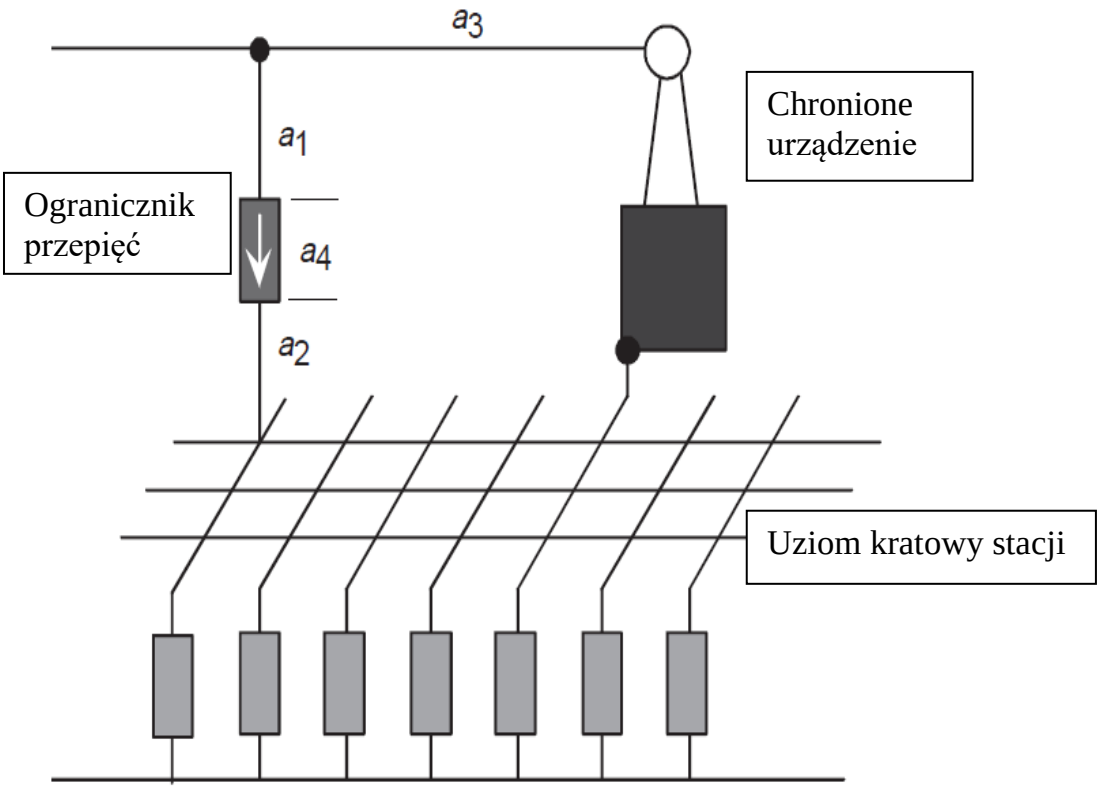
Natomiast maksymalny poziom tego przepięcia , w sposób uproszczony może być wyliczony ze wzoru (11), (który w normie [2] jest podany w załączniku E jako wzór E21):

$$U_{rp} = U_{pl} + A/n \times L/L_{sp} \qquad (11)$$

gdzie: L_{sp} - jest długością przęsła linii elektroenergetycznej dochodzącej do stacji [m]

n- jest minimalną liczbą linii (n =1 lub 2)

A jest współczynnikiem z Tabeli E.2 w załączniku E[2].



Rys.2 Schemat połączeń ogranicznika przepięć do obiektu chronionego [2].

W obliczeniach ochrony od przepięć FFO dążymy do wyznaczenia efektywnego poziomu ochrony obiektu chronionego, jak na Rys.2, przez ogranicznik zainstalowany w odległości L od tego obiektu. W tym celu wyznaczamy wymagane napięcie wytrzymywane U_{rw} (15) , przyjmując, że współczynnik koordynacji K_c (16) jest równy 1. Wartość współczynnika K_s dla izolacji wewnętrznej przyjmuje się 1,15, dla izolacji zewnętrznej wynosi 1,05 (18).Wtedy na podstawie wzorów (16) i (19) można napisać :

$$U_{rw} = U_{rp} \text{ x } K_s \qquad (12)$$

Jeżeli wymagane napięcie wytrzymywane U_{rw} chronionego obiektu odpowiada jego poziomowi BIL (ujawnionemu na tabliczce znamionowej obiektu chronionego) to wzór (8) można zapisać jako :

$$BIL/K_s = U_{pl} + 2S \times t_s \qquad (13)$$

Mając na uwadze zależność (10) można dalej zapisać (14):

$$L = c \left(BIL/K_s - U_{pl} \right)/2S \qquad (14)$$

W celu obliczenia stromości wyładowania piorunowego można wykorzystać wzór (9) o ile jest znana odległość X – uderzenia wyładowania piorunowego w linię elektroenergetyczną - od stacji do której ta linia dochodzi.

Z uwagi na możliwe trudności związane z określeniem wartości X można wykorzystać szacunkowe wartości stromości S podane w normie [25] gdzie przyjęto :

- dla sieci z zakresu I ($1kV < U_m \leq 245kV$), $S \geq 1000kV/\mu s$

- dla sieci z zakresu II ($U_m > 245kV$), $S = 2000kV/\mu s$

Pewną weryfikacje poprawności obliczenia odległości L (10) można uzyskać w oparciu o wzór (11). Wartość U_{rp} obliczona na podstawie tego wzoru powinna spełniać zależność (15):

$$BIL/K_s > U_{rp} \qquad (15)$$

Uwaga: Wyniki obliczeń poziomów reprezentatywnego przepięcia FFO według wzorów (8) i (11) są obliczeniami uproszczonymi i nie powinny stanowić podstawy całościowego podejścia do problemu wyznaczania poziomów napięć U_{rp} dla nowo projektowanej stacji elektroenergetycznej. Przykłady całościowego podejścia w tym zakresie są podane w Załączniku G „Przykłady stosowania procedury koordynacji izolacji" , w normie [2], dla różnych poziomów napięcia i urządzeń zainstalowanych w stacji.

Przepięcia o bardzo stromym czole VFFO. Te przepięcia są związane z działaniem rozłączników i występowaniem stanów awaryjnych GISów. Dla tych przepięć nie wyznacza się napięcia reprezentatywnego dla sieci elektroenergetycznych do 800kV.

Uwaga: Efektywność ochrony urządzeń od przepięć VFFO za pomocą ograniczników przepięć jest niewielka.

22.2 Zbiór napięć wytrzymywanych

Koordynacyjne napięcie wytrzymywane U_{cw} wyznacza się w oparciu o najniższą wartość napięcia wytrzymywanego spełniającego kryterium poprawnego działania w odniesieniu do poziomu reprezentatywnych przepięć, ustalonego w oparciu o warunki eksploatacyjne. Napięcie U_{cw} oblicza się mnożąc wartość przepięcia reprezentatywnego przez współczynnik koordynacyjny K_c.

$$U_{cw} = K_c \times U_{rp} \qquad (16)$$

Wartości współczynnika K_c wynikają nie tylko z analizy sieci ale także z wybranej procedury koordynacji izolacji (deterministycznej lub statystycznej) [2].

Wymagane napięcie wytrzymywane U_{rw}. Wyznaczenie tego napięcia wymaga uwzględnienia warunków eksploatacyjnych tak aby spełnić kryterium poprawnego działania. Należy uwzględnić współczynnik poprawkowy na wysokości n.p.m K_a i współczynnik bezpieczeństwa K_s. Mając na uwadze, że Polska jest krajem nizinnym, gdzie średnie wzniesienie nad poziomem morza wynosi 173m oraz biorąc pod uwagę wynik obliczeń na podstawie wzoru (14) w [2] można przyjąć ,że :

$$K_a = 1 \qquad (17)$$

Współczynnik bezpieczeństwa K_s uwzględnia różnicę pomiędzy warunkami prób laboratoryjnych izolacji a warunkami rzeczywistymi pracy urządzenia. W przypadku izolacji wewnętrznej przyjmuje się wartość $K_s = 1{,}15$ dla izolacji zewnętrznej zaleca się przyjęcie $K_s = 1{,}05$:

$$K_s = 1{,}15 \text{ lub } K_s = 1{,}05 \qquad (18)$$

Stąd :

$$U_{rw} = U_{cw} \times K_s \qquad (19)$$

W oparciu o współczynniki podane w Tablicach 1 i 2 [2] wyznacza się znamionowe napięcia wytrzymywane dla analizowanego zbioru napięć i przepięć i w konsekwencji dokonuje się wyboru *znamionowego poziomu izolacji.*

Przykłady obliczeniowe koordynacji izolacji dla zakresów napięciowych I i II sieci elektroenergetycznych oraz dla sieci o napięciu znamionowym 6 – 36kV przedstawiono w Załączniku G normy [2]. Natomiast w normie [18] podano zasady koordynacji urządzeń elektrycznych niskiego napięcia.

Uwaga: Źródła powstawania przepięć i zakresy wartości przepięć w sieci elektroenergetycznej pomiędzy fazą a ziemią przedstawiono w Tablicy na rysunku 14 [4].

23. Wybór znormalizowanych znamionowych poziomów izolacji

Wybór znormalizowanych poziomów izolacji wykonuje się w następujących trzech podstawowych krokach:

23.1. Dobór ograniczników przepięć do warunków sieciowych i określenie przepięć reprezentatywnych

Określenie poziomu przepięć w konkretnych miejscach w sieci, na przykład na wejściu linii do stacji, może stanowić pewien problem. W celu oszacowania poziomu przepięć można wykorzystać zbiorczą informację przedstawioną na Rys. 1 w normie [2] a także informacje z Załącznika A w normie [2] gdzie podano wartości przepięć przypisane do sytuacji występujących w sieci. Dotyczy to także danych w tablicy na Rys.14 w normie [4].
W przypadku projektowania dużych stacji elektroenergetycznych takie podejście może okazać się niewystarczające, wtedy należy zamodelować stację na przykład wykorzystując program EMTP uwzględniając dobór aparatury i sposób oszynowania stacji.

23.1.1. Napięcie trwałej pracy ograniczników przepięć przyłączanych do przewodów roboczych sieci dobiera się według wzorów:

- dla ograniczników w sieciach o napięciu znamionowym 110 – 400kV:

$$U_c \geq \beta \times \frac{U_s}{\sqrt{3}} \qquad (20)$$

gdzie: $\beta = 1{,}05$ – współczynnik uwzględniający wpływ wyższych harmonicznych

- dla ograniczników w sieciach o napięciu znamionowym 6 – 30kV:

$$U_c \geq U_s \qquad (21)$$

23.1.2. Napięcie znamionowe ograniczników przepięć określają wzory:

$$U_r \geq 1{,}25 \times U_c \qquad (22)$$

$$U_r \geq k \times \frac{U_s}{\sqrt{3}} \qquad (23)$$

Tablica 9
Wartości współczynnika zwarcia doziemnego

Napięcie znamionowe sieci U_n	kV	110	220	400
Najwyższe napięcie sieci U_s	kV	123	245	420
Współczynnik *k*	-	1,4	1,3	
*wartości *dla ograniczników instalowanych do ochrony transformatorów blokowych należy policzyć indywidualnie*				

Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć przyłączanych do przewodów roboczych w sieciach o napięciu znamionowym 6 – 400kV są przedstawione w Tablicach 1 i 6.

23.1.3. Przepięcia reprezentatywne U_{rp} określa się dla wybranych ograniczników przepięć na podstawie danych z katalogów .W stacjach o napięciu znamionowym 6 – 400 kV przepięcia reprezentatywne udarowe piorunowe osiągają wartości obliczone na podstawie wzorów (8) i (11) oraz podanych w Załączniku E normy [2]. Natomiast przepięcia reprezentatywne udarowe łączeniowe przyjmują wartość

$$U_{rps(400kV)} = U_{ps(1\ lub2\ kA\ 30/\leq 100\mu s)} \qquad (24)$$

23.2. Wybór wartości znormalizowanych wytrzymywanych napięć udarowych piorunowych U_{wl} i łączeniowych U_{ws}. Wybór znormalizowanego poziomu izolacji.

Wyboru wartości znormalizowanych napięć wytrzymywanych udarowych i łączeniowych dokonuje się na podstawie wykazu podanego w Tablicach 10 i 11, stanowiących wyciągi odpowiednio z Tablic 2 i 3 normy [1], jako najbliższych wartości równych lub większych niż obliczone w toku postępowania według punktu 22.
Wyboru znormalizowanego poziomu izolacji dokonuje się według Tablic 10 i 11.

Tablica 10
Znormalizowane poziomy izolacji zakresu I (1kV < U_m ≤ 245kV)

Najwyższe napięcie urządzenia U_m kV (wartość skuteczna)	**Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane krótkotrwale częstotliwości sieciowej kV (wartość skuteczna)**	**Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe piorunowe kV (wartość szczytowa)**
7,2	**20**	**40 (60)**
12	**28**	**60 (75) 95**
17,5	**38**	**75 (95)**

Najwyższe napięcie urządzenia U_m kV (wartość skuteczna)	Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane krótkotrwale częstotliwości sieciowej kV (wartość skuteczna)	Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe piorunowe kV (wartość szczytowa)
24	50	95 (125)
36	70	145 (170)
123	(185)	(450)
	230	550
245	275	650
	325	750
	360	850
	(395) 460	(950) 1050

Uwaga: W nawiasach zaznaczono wartości zalecane

Tablica 11
Znormalizowane poziomy izolacji zakresu II (U_m > 245kV)

Najwyższe napięcie urządzenia U_m kV (wartość skuteczna)	Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe łączeniowe kV (wartość szczytowa) Faza - ziemia	Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe piorunowe kV (wartość szczytowa)
420	850	1050 1175
	950	1175 1300
	(1050)	1300 (1425)
800	1300	1675 1800
	1425	1800 1950
	1550	1950 2100

Uwaga: W nawiasach zaznaczono wartości zalecane.

CZĘŚĆ VI – INFORMACJE DODATKOWE

24. Zakresy zmian rezystywności gruntu w Polsce

24.1 W Tablicy 12 [32] podano typowe wartości rezystywności ρ gruntów w Polsce. Mogą one być podstawą jedynie do wstępnego oszacowania parametrów uziemienia stacji i nie mogą zastępować wykonywania polowych pomiarów rezystywności.

24.2 Należy zaznaczyć, że na etapie projektowania uziemienia stacji pomiary rezystywności gruntu powinny być wykonywane w okresie, gdy występują możliwie największe ich wartości (czyli gdy wilgotność gruntu jest mała). Okres, w którym należy wykonywać takie pomiary powinien wynosić nie mniej niż dwa dni po długotrwałych opadach w sezonie o najwyższych średnich temperaturach.

24.3 Nie dopuszcza się stosowania środków chemicznych obniżających rezystywność gruntu.

Tablica 12
Zakresy zmian rezystywności gruntu

RODZAJ GRUNTU	Rezystywność ρ [Ωm]	
	Wartość przeciętna	Wartość największa
Iły, glina ciężka, glina pylasta ciężka, glina, grunty torfiaste i organiczne, gleby bagienne, grunty próchnicze, (czarnoziemy i mady),	40	200
Glina piaszczysta , glina pylasta ,pyły, gleby bielicowe i brunatne wytworzone z glin zwałowych oraz piasków naglinkowych i naiłowych	100	260
Piasek gliniasty i pylasty, pospółki, gleby bielicowe wytworzone z piasków słabo gliniastych .	200	600
Piaski, żwiry ,gleby bielicowe wytworzone ze żwirów i piasków luźnych	400	3000
Piaski i żwiry suche (zwierciadło wody gruntowej na głębokości większej niż 3m).	1000	5000